



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**STRATEGI PENENTUAN LOKASI DAN NILAI KAPASITOR  
PADA JARINGAN DISTRIBUSI TERDISTORSI HARMONIK  
UNTUK MEMINIMASI PENGARUH RESONANSI  
MENGUNAKAN ALGORITMA *DIRECT SEARCH***

Ahmad Maherul Samsu  
NRP 2213105065

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TE 141599**

**STRATEGIC CAPACITOR PLACEMENT AND SIZING IN  
DISTORTED HARMONIC DISTRIBUTION NETWORK BY  
MINIMIZATION RESONANCE EFFECT USING DIRECT  
SEARCH ALGORITHM**

Ahmad Maherul Samsu  
NRP 2213105065

Supervisors  
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty Of Industry Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya 2015

**STRATEGI PENENTUAN LOKASI DAN NILAI KAPASITOR  
PADA JARINGAN DISTRIBUSI TERDISTORSI HARMONIK  
UNTUK MEMINIMASI PENGARUH RESONANSI  
MENGUNAKAN ALGORITMA *DIRECT SEARCH***

**TUGAS AKHIR**

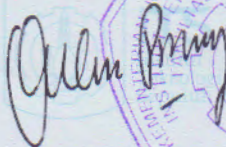
**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**



**Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc.Ph.D**

**NIP.194907151974121001**

**Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.**

**NIP. 195512071980031004**

**SURABAYA  
JULI, 2015**

# **Strategi Penentuan Lokasi dan Nilai Kapasitor pada Jaringan Distribusi Terdistorsi Harmonik untuk Meminimasi Pengaruh Resonansi Menggunakan Algoritma *Direct Search***

Ahmad Maherul Samsu

2213 105 065

Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

## **Abstrak:**

Meningkatnya penambahan beban pada sistem tenaga listrik menyebabkan *drop* tegangan dan rugi daya pada sistem distribusi juga semakin besar, sehingga diperlukan kapasitor sebagai kompensator daya reaktif. Penempatan dan pembatasan nilai resonansi kapasitor dalam jaringan distribusi juga memegang peran penting untuk menghasilkan daya dari jaringan distribusi. Oleh karena itu, perlu adanya solusi penentuan lokasi dan nilai kapasitor untuk mencegah terjadinya rugi daya dan nilai resonansi yang besar yang dapat mengakibatkan gangguan pada jaringan distribusi. Sebuah metode *Direct Search* diperlukan untuk mengidentifikasi Nilai dan biaya kapasitor yang optimal dalam sistem. Metode *Direct Search* juga bekerja dengan *Loss Sensitivity Factor* untuk menemukan lokasi kompensator daya reaktif yang paling tepat. Indeks resonansi juga berperan sebagai pembatasan nilai resonansi kapasitor pada bus yang telah terpasang kapasitor. Penelitian ini menggunakan aliran daya harmonik untuk sistem distribusi. Aliran daya dihitung untuk mendapatkan rugi daya pada setiap bus. Setelah dilakukan beberapa analisis didapatkan nilai rugi rugi daya awal 138.6976 kW yang setelah terkompensasi kapasitor turun menjadi 106.371 kW. Disamping itu juga menghasilkan penempatan kapasitor pada bus 4,5,dan 6 dengan nilai kapasitor 150 kVAR yang memiliki nilai resonansi pada batas yang di iijinkan yaitu nilai dibawah 0.292.

**Kata kunci :** Rugi Daya, Kapasitor, Harmonisa, *Direct Search*, *Loss Sensitivity Factor*, Indeks Resonansi

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# ***Strategic Capacitor Placement And Sizing In Distorted Harmonic Distribution Network By Minimization Resonance Effect Using Direct Search Algorithm***

Ahmad Maherul Samsu  
2213 105 065

Supervisor I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.

Supervisor II : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

## ***Abstract:***

*Increased addition of load on the power system causes a voltage drop and power losses in the distribution system is also getting bigger, so that the required capacitor as reactive power compensator. Placement and restrictions resonance capacitor values in the distribution network also plays an important role for generating power from the distribution network. Therefore, the need for location determination solutions and sizing capacitor to prevent power losses and large resonance value can lead to disturbances in the distribution network. A method Direct Search necessary to identify sizing and optimal capacitor charges in the system. Direct Search method also works with the Loss Sensitivity Factor to find the location of the reactive power compensator most appropriate. Resonance index also serves as a limitation on the value of the resonant capacitor bus capacitors have been installed. This study uses the harmonic power flow to the distribution system. Power flow is calculated to obtain power losses on each bus. After doing some analisis get value losses 106.371 kW power loss early after compensated capacitor which dropped to 106.371 kW. Besides, it also resulted in the placement of capacitors on a bus 4,5,and 6 on the size capacitor of 150 kVAR that has a resonance at the limit value allowed under the 0.292 value.*

***Keywords :*** Power Loss, Capacitor, Harmonic, Direct Search, Loss Sensitivity Factor, Index Resonance.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **Strategi Penentuan Lokasi dan Nilai Kapasitor pada Jaringan Distribusi Terdistorsi Harmonik untuk Meminimasi Pengaruh Resonansi Menggunakan Algoritma *Direct Search***.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya.
2. Kedua orang tua yang selalu mendukung penulis.
3. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D. dan Dr. Ir. Soedibjo, M.MT. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Alm. Fitriana ST., MT., Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT. Yang selalu membimbing dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Mas yuli, mbak ripka, irfan efrizal, novian umen, alfian, riski, ahmad fauzi, freza, dan nizar yang membantu dalam menyelesaikan persoalan pada tugas akhir ini.
6. Seluruh rekan-rekan yang telah memberikan bimbingan, ilmu, serta nasihat selama penulis melaksanakan tugas akhir ini.

Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa maupun peneliti yang membacanya. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, oleh karena itulah diharapkan terdapat pemberian kritik dan saran dengan tujuan sebagai sarana dalam penyempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, 7 Juli 2015

Penulis



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi

## **BAB 1 PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	1
1.3 Batasan masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Metodologi .....	2
1.6 Sistematika Pembahasan .....	3
1.7 Relevansi .....	3

## **BAB 2 SISTEM DISTRIBUSI DAN HARMONISA**

2.1 Sistem Distribusi .....	5
2.1.1 Sistem Distribusi Radial .....	6
2.2 Studi Aliran Daya .....	7
2.3.1 Metode Topologi Jaringan .....	8
2.3 Faktor Daya .....	10
2.4 Kuantitas Per Unit .....	11
2.5 Kapasitor .....	13
2.6 Harmonisa .....	14
2.6.1 Tegangan Harmonisa .....	16
2.6.2 Distorsi Harmonisa .....	16
2.6.4 Pengaruh Harmonisa pada Kapasitor .....	17
2.7 Pengertian HPF( <i>Harmonic Power Flow</i> ) .....	18
2.7.1 Batas Nilai Tegangan dan Arus Harmonisa .....	20
2.8 Algoritma <i>Direct Search</i> .....	21
2.8.1 Fungsi Objektif .....	22
2.8.2 <i>Loss Sensitivity Factor</i> .....	23

### **BAB 3 METODE DAN PEMASANGAN KAPASITOR**

3.1	Perencanaan Pemasangan Kapasitor.....	25
3.1.1	Perencanaan Kapasitor.....	25
3.1.2	Proses Perhitungan Matriks .....	27
3.2	Perhitungan Aliran Daya Harmonisa .....	28
3.2.1	Analisis Harmonisa Metode Konvensional.....	29
3.2.2	Analisis Harmonisa Dengan Menggunakan <i>Forward-Backward Sweep</i> .....	29
3.3	Metode Pemasangan Kapasitor.....	34
3.4	Metode <i>Direct Search</i> .....	35
3.5	Perhitungan Resonansi Kapasitor .....	36

### **BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS**

4.1	Hasil simulasi <i>Harmonic Load Flow</i> jaringan distribusi 20 bus 3 fasa seimbang menggunakan Matlab .....	39
4.1.1	Hasil Simulasi Rugi Daya Sebelum Pemasangan Kapasitor .....	41
4.2	Penurunan Level Beban Terhadap THD Pada Jaringan Distribusi .....	41
4.3	Simulasi dan Analisis Penentuan Lokasi dan Nilai Kapasitor Pada Jaringan Distribusi 20 Bus Menggunakan Level Beban 100% .....	44
4.3.1	Penentuan Lokasi Kapasitor Berdasarkan <i>Loss Sensitivity Factor</i> pada level beban 100% .....	44
4.3.2	Hasil Simulasi Dan Analisis Menentukan Nilai Dan Biaya Kapasitor Menggunakan Metode <i>Direct Search</i> .....	45
4.3.3	Pengaruh Kapasitor Pada Perubahan Tegangan.....	47
4.3.4	Pengaruh Kapasitor Pada Perubahan Faktor Daya .....	48
4.3.5	Pengaruh Kapasitor Pada Perubahan THD ( <i>Total Harmonic Distortion</i> ).....	49
4.4	Simulasi dan Analisis Penentuan Lokasi dan Nilai Kapasitor Pada Jaringan Distribusi 20 Bus Menggunakan Level Beban 80% .....	51
4.4.1	Penentuan Lokasi Kapasitor Berdasarkan <i>Loss Sensitivity Factor</i> pada level beban 80% .....	51
4.4.2	Hasil Simulasi Dan Analisis Menentukan Nilai Dan Biaya Kapasitor Menggunakan Metode <i>Direct Search</i> .....	52
4.4.3	Pengaruh Kapasitor Pada Perubahan Tegangan.....	54

4.4.4 Pengaruh Kapasitor Pada Perubahan Faktor Daya .....	55
4.4.5 Pengaruh Kapasitor Pada Perubahan THD ( <i>Total Harmonic Distortion</i> ) .....	56
4.5 Simulasi dan Analisis Resonansi Kapasitor pada level beban 100% .....	58
4.6 Simulasi dan Analisis Resonansi Kapasitor pada level beban 80% .....	60
4.7 Perbandingan Resonansi Terhadap Nilai Kapasitor .....	63
 <b>BAB 5 PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan .....	65
5.2 Saran .....	65
 <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	67
<b>BIOGRAFI PENULIS</b> .....	69
<b>LAMPIRAN</b> .....	71

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Batas distorsi tegangan.....	20
<b>Tabel 2.2</b>	Batas distorsi arus.....	21
<b>Tabel 4.1</b>	Hasil Simulasi <i>Harmonic Power Flow</i> Tanpa Penambahan Kapasitor dengan Menggunakan 2 Sumber Harmonisa menggunakan <i>Software</i> Matlab 2009a .....	39
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil Simulasi Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi.....	41
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil Simulasi Nilai THD Terhadap Level Beban 100% ..	42
<b>Tabel 4.4</b>	Hasil Simulasi Nilai THD Terhadap Level Beban 80% ....	42
<b>Tabel 4.5</b>	Nilai Kapasitor .....	44
<b>Tabel 4.6</b>	Hasil Simulasi Dengan Menggunakan <i>Loss Sensitivity Factor</i> Pada Level Beban 100% .....	46
<b>Tabel 4.7</b>	Hasil Simulasi <i>Direct Search</i> Menggunakan Level Beban 100% .....	46
<b>Tabel 4.8</b>	Perbandingan Rugi Daya Pada Sistem Sebelum Dan Setelah Pemasangan Kapasitor 150 kVAR Pada level beban 100% .....	47
<b>Tabel 4.9</b>	Perbandingan Tegangan Sebelum Dan Sesudah Pemasangan Kapasitor 150 kVAR Pada level beban 100% .....	47
<b>Tabel 4.10</b>	Perbandingan PF Sebelum Pemasangan Kapasitor dan Setelah Pemasangan Kapasitor 150 kVAR Pada level beban 100% .....	48
<b>Tabel 4.11</b>	Perbandingan THD Sebelum dan Setelah Pemasangan Kapasitor 150 kVAR Pada level beban 100% .....	50
<b>Tabel 4.12</b>	Lokasi Pemasangan Kapasitor Pada Level Beban 100%...	51
<b>Tabel 4.13</b>	Hasil Simulasi Dengan Menggunakan <i>Loss Sensitivity Factor</i> Pada Level Beban 80% .....	51
<b>Tabel 4.14</b>	Hasil Simulasi <i>Direct Search</i> Menggunakan Level Beban 80% .....	53
<b>Tabel 4.15</b>	Perbandingan Rugi Daya Pada Sistem Sebelum Dan Setelah Pemasangan Kapasitor 150 Kvar.....	54
<b>Tabel 4.16</b>	Perbandingan Tegangan Sebelum Dan Sesudah Pemasangan Kapasitor 150 kVAR pada Level Beban 80% .....	54
<b>Tabel 4.17</b>	Perbandingan PF Sebelum Pemasangan Kapasitor dan Setelah Pemasangan Kapasitor 150 kVAR Pada Level Beban 80% .....	55

<b>Tabel 4.18</b>	Perbandingan THD Sebelum dan Setelah Pemasangan Kapasitor 150 kVAR pada level beban 80% .....	57
<b>Tabel 4.19</b>	Lokasi Pemasangan Kapasitor pada level beban 80% .....	58
<b>Tabel 4.20</b>	Nilai Resonansi Kapasitor dan THD pada Level Beban 100% .....	58
<b>Tabel 4.21</b>	Perbandingan Resonansi Kapasitor dengan Batas Indeks Resonansi yang di Izinkan Pada Level Tegangan 100% ...	59
<b>Tabel 4.22</b>	Nilai Resonansi Kapasitor dan THD pada Level Beban 100% .....	61
<b>Tabel 4.23</b>	Perbandingan Resonansi Kapasitor dengan Batas Indeks Resonansi yang di Izinkan Pada Level Tegangan 80% .....	61
<b>Tabel 4.24</b>	Hasil Resonansi Terhadap Nilai Kapasitor .....	63

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Sistem Distribusi Radial.....	6
<b>Gambar 2.2</b>	Segitiga Daya.....	11
<b>Gambar 2.3</b>	Bentuk gelombang pada frekuensi fundamental.....	14
<b>Gambar 2.4</b>	Bentuk spektrum harmonisa.....	15
<b>Gambar 2.5</b>	Bentuk gelombang real setelah digabungkan.....	15
<b>Gambar 2.6</b>	Gelombang Sinus arus dan tegangan .....	17
<b>Gambar 2.7</b>	Gelombang Fundamental, Harmonik ketiga dan hasil penjumlahannya .....	18
<b>Gambar 3.1</b>	Jaringan Distribusi 20 bus 3 fasa seimbang yang terdistorsi harmonik.....	26
<b>Gambar 3.2</b>	Contoh bentuk gelombang dan Spektrum Harmonisa .	27
<b>Gambar 3.3</b>	Sistem Distribusi dengan Beban Non - Linier .....	30
<b>Gambar 3.4</b>	<i>Flowchart</i> Analisis Aliran Daya Harmonisa pada Sistem Distribusi .....	33
<b>Gambar 3.5</b>	<i>Flowchart Direct Search</i> , LSF, dan Indeks Resonansi Kapasitor.....	38
<b>Gambar 4.1</b>	Perbandingan THD terhadap Level Beban .....	43
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik Perbandingan Nilai Resonansi Kapasitor Terhadap Standar yang Di Ijinkan Pada Level Beban 100% .....	44
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik Perbandingan Nilai Resonansi Kapasitor Terhadap Standar yang Di Ijinkan Pada Level Beban 80%.....	64



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Jaringan distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang bertugas menyalurkan daya listrik dari pusat pembangkit menuju ke beban/konsumen. Daya yang diperlukan konsumen berupa daya aktif dan daya reaktif. Daya reaktif ini dihasilkan dari daya eksitasi generator, sehingga jumlahnya terbatas. Besarnya arus yang mengalir pada saluran, berakibat *drop* tegangan menjadi semakin besar, rugi-rugi daya pada saluran juga semakin besar. Kapasitor mampu menghasilkan daya reaktif yang dapat digunakan untuk menambah supply daya reaktif dari generator.

Penggunaan kapasitor pada umumnya sudah banyak dilakukan pada jaringan distribusi di seluruh dunia karena mendapatkan keuntungan ekonomis dan teknis. Akan tetapi jika peletakan kapasitor pada jaringan distribusi kurang tepat apalagi pada jaringan tersebut memiliki rugi - rugi daya yang tinggi dan resonansi tanpa batas maka akan berpengaruh terhadap profil tegangan yang di *supply* dari pembangkit [1].

Agar tidak terjadi kesalahan dalam meletakkan kapasitor, maka penentuan lokasi kapasitor merupakan solusi yang tepat agar bisa menurunkan rugi - rugi daya dan meminimasi pengaruh resonansi dengan memberikan batasan pada nilai resonansi pada jaringan distribusi

### **1.2 Perumusan Masalah**

Hal yang menjadi permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah

1. Penempatan lokasi kapasitor yang kurang tepat sehingga terjadi penurunan profil tegangan akibat rugi - rugi daya yang besar
2. Pengaruh resonansi yang disebabkan oleh distorsi harmonisa akan mempercepat usia kapasitor tersebut

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam Tugas Akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut:

1. *Software* yang digunakan adalah Matlab.
2. Penentuan lokasi dan nilai kapasitor menggunakan algoritma *Direct Search*
3. Hanya memperhatikan penempatan lokasi dan nilai kapasitor dalam jaringan distribusi radial
4. Menggunakan metode pendukung yaitu *Resonansi Index* sebagai pembatasan resonansi pada titik penempatan kapasitor pada jaringan distribusi

### 1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini

1. Mengetahui rugi rugi daya dalam penentuan lokasi dan nilai kapasitor pada jaringan distribusi radial
2. Pembatasan nilai resonansi pada kapasitor yang telah dipasang.

### 1.5 Metodologi

Penulisan dan penyusunan tugas akhir ini menggunakan metodologi sebagai berikut:

1. Studi literatur  
Penulis mempelajari literatur mengenai jaringan distribusi radial, penempatan lokasi dan nilai kapasitor, dan pembatasan resonansi pada jaringan distribusi terdistorsi harmonik untuk meminimasi rugi rugi daya reaktif
2. Pengumpulan Data  
Pengambilan data yang didapatkan dari *single line diagram* berupa data tegangan, beban, dan parameter lainnya.
3. Simulasi  
Data yang diperoleh kemudian diolah dalam bentuk simulasi untuk mengetahui penempatan kapasitor yang cocok dengan rugi-rugi paling minimum dengan menggunakan *software* Matlab.

4. Analisa Data  
Dari simulasi dan pemodelan didapatkan data rugi-rugi daya dan kemudian dilakukan analisa terhadap hasil tersebut.
5. Kesimpulan  
Dari simulasi dan analisis yang selanjutnya dapat ditarik sebuah kesimpulan.

## **1.6 Sistematika Pembahasan**

Pembahasan dalam tugas akhir ini akan dibagi dalam lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

### **Bab I Pendahuluan**

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika pembahasan, dan relevansi.

### **Bab II Sistem Distribusi Dan Harmonisa**

Pada bab ini dijelaskan mengenai tinjauan pustaka mengenai jaringan distribusi dan harmonisa serta resonansi yang ada pada sistem.

### **Bab III Metode Dan Pemasangan Kapasitor**

Pada bab ini dijelaskan perencanaan untuk pemasangan kapasitor pada jaringan distribusi.

### **Bab IV Simulasi Dan Analisis**

Bab ini berisi simulasi dan analisis pada jaringan distribusi radial dimana data yang didapat didapati dianalisis untuk memudahkan menarik kesimpulan.

### **Bab V Kesimpulan dan Saran**

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran.

## **1.7 Relevansi**

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Menjadi acuan untuk melakukan analisis aliran daya harmonisa pada sistem distribusi khususnya sistem distribusi radial

2. Dapat menjadi bahan pertimbangan dalam melakukan rekonfigurasi jaringan pada sistem distribusi yang memiliki sumber harmonisa pada bus-bus tertentu
3. Dapat menjadi referensi atau tolok ukur untuk penelitian tentang analisis aliran daya harmonisa selanjutnya.

## **BAB 2**

### **SISTEM DISTRIBUSI DAN HARMONISA**

#### **2.1 Sistem Distribusi**

Sistem distribusi adalah saluran tenaga listrik yang menghubungkan antara pusat pembangkit hingga ke beban (biasanya pelanggan/konsumen). Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik besar dengan tegangan dari 11kV sampai 27kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 154KV dan 500kV, kemudian disalurkan melalui sistem transmisi. Tujuan menaikkan tegangan adalah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, di mana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir dengan nilai impedansi saluran. Dengan nilai daya yang sama apabila tegangannya diperbesar maka arus yang mengalir dalam saluran transmisi akan menjadi lebih kecil sehingga kerugian daya juga akan menjadi lebih kecil[1]

Berdasarkan letak jaringan terhadap posisi gardu distribusi, jaringan distribusi dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. Jaringan distribusi primer atau jaringan distribusi tegangan menengah (JTM).
2. Jaringan distribusi sekunder atau jaringan distribusi tegangan rendah (JTR).

Jaringan distribusi primer (JTM) merupakan suatu jaringan yang letaknya berada di sebelum gardu distribusi dan berfungsi untuk menyalurkan daya listrik pada tegangan menengah (misalnya 6 kV atau 20 kV). Aliran daya pada jaringan distribusi ini didistribusikan melalui kabel dalam tanah atau saluran/kawat udara yang menghubungkan gardu induk dengan gardu distribusi atau gardu hubung.

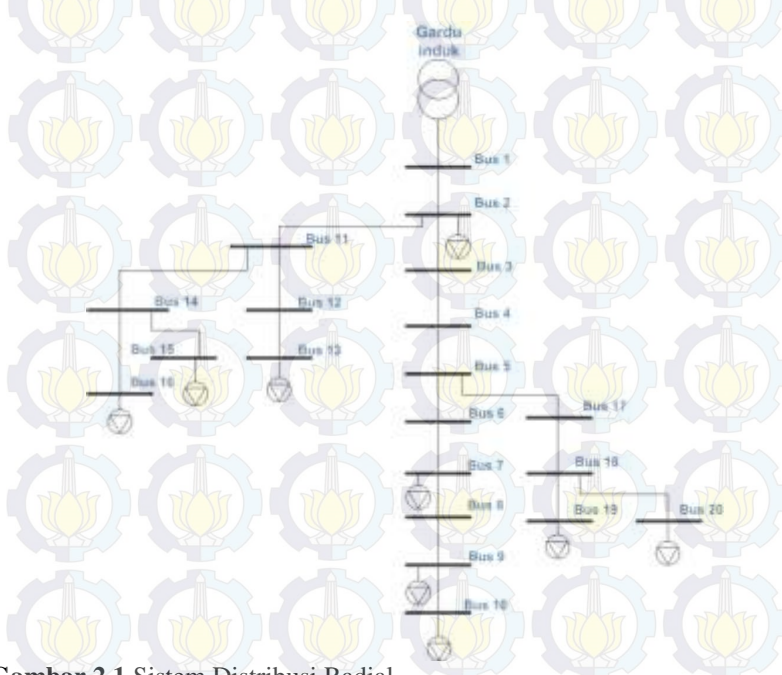
Jaringan distribusi sekunder (JTR) merupakan suatu jaringan yang letaknya berada di setelah gardu distribusi dan berfungsi untuk menyalurkan daya listrik pada tegangan rendah (misalnya 220 V/380 V). Aliran daya pada jaringan distribusi ini didistribusikan melalui kabel tanah atau kawat udara yang menghubungkan dari gardu distribusi ke tempat konsumen atau pelanggan (misalnya industri atau rumah-rumah).

Sedangkan untuk gardu distribusi sendiri adalah suatu lokasi transformator *step down* yaitu transformator yang menurunkan tegangan

dari tegangan menengah menjadi tegangan rendah (sesuai kebutuhan konsumen) berada..

### 2.1.1 Sistem Distribusi Radial

Sistem distribusi radial merupakan sistem distribusi yang hanya memiliki satu jalur dari sumber (gardu distribusi) menuju ke setiap pelanggan. Bentuk jaringan ini merupakan bentuk yang paling sederhana, banyak digunakan dan murah. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan tersebut dan dihubungkan secara bercabang-cabang ke titik-titik beban yang dilayani. Pada Tugas Akhir ini, akan khusus membahas sistem jaringan distribusi radial.[1]



**Gambar 2.1** Sistem Distribusi Radial

Daya dihasilkan hanya dari satu titik sumber. Karena adanya pencabangan-pencabangan tersebut, maka arus beban yang mengalir di sepanjang saluran menjadi tidak sama sehingga luas penampang

konduktor pada jaringan yang berbentuk radial ini ukurannya tidak sama pula. Hal ini disebabkan karena arus yang paling besar mengalir pada jaringan yang paling dekat dengan gardu induk. Sehingga saluran yang paling dekat dengan gardu induk ini ukuran penampangnya relatif besar dan makin dekat saluran dari sistem distribusi tersebut dengan beban, maka arus yang mengalir akan lebih kecil sehingga ukuran konduktornya menjadi lebih kecil juga. Spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah :

- Bentuknya sederhana.
- Biaya investasinya murah.
- Kualitas pelayanan dayanya relatif kurang baik, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
- Kontinuitas pelayanan daya kurang terjamin sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.

Untuk melokalisir gangguan pada bentuk radial ini biasanya dilengkapi dengan peralatan pengaman, fungsinya untuk membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran di sesudah atau di sebelum titik gangguan selama gangguan belum teratasi.

## 2.2 Studi Aliran Daya

Studi aliran daya adalah untuk mendapatkan tegangan dan arus pada bus yang diinginkan. Sehingga dapat diketahui kondisi bus tersebut saat adanya penambahan beban pada sistem. [7]

Berdasar hukum Kirchoff Arus, hubungan antara besar tegangan bus dan arus dinyatakan dalam persamaan titik tegangan.

$$I_{bus} = Y_{bus} \cdot V_{bus} \quad (2.1)$$

Persamaan di atas jika dinyatakan ke dalam bentuk matriks admitansi dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{23} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.2)$$



Dimana

$n$  = jumlah total titik

$Y_{11}$  = admitansi sendiri dari titik  $i$

$Y_{21}$  = mutual admitansi dari titik  $i$  dan  $j$

$V_1$  = tegangan fasor pada titik  $i$

$I_1$  = arus fasor yang mengalir ke titik  $i$

Untuk menghitung daya aktif dan daya reaktif pada bus  $i$  dapat digunakan rumus perhitungan seperti di bawah ini

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2.3)$$

atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.4)$$

Persamaan aliran daya di atas, hanya untuk menyelesaikan 1 bus saja. Sehingga, untuk dapat menyelesaikan persamaan aliran daya untuk semua bus, dapat dilakukan iterasi atau proses perulangan. Hal ini dapat dilakukan dengan memberikan suatu nilai yang acak untuk tegangan yang tidak diketahui berapa nilainya, dan kemudian dengan nilai tersebut dihitung suatu nilai baru untuk setiap tegangan bus dari suatu nilai baru yang dihasilkan pada bus lain. Setiap perhitungan ini disebut dengan satu perulangan.. Proses perulangan ini diulang secara *continue* hingga perubahan yang terjadi pada setiap bus kurang dari nilai *error* maksimum yang ditetapkan.

### 2.2.1 Metode Topology Jaringan

Pada sistem distribusi radial, terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan dalam penyelesaian analisa *load flow* sehingga metode Newton Rhapson dan fast decoupled kurang cocok digunakan, yaitu: [2]

1. Struktur jaringannya radial.
2. Salurannya tidak mengalami *transpose*.
3. Memiliki banyak jumlah *node*/percabangan.
4. *Unbalance loads*.
5. Memiliki nilai R/X yang tinggi.

Dikarenakan memiliki suatu ciri yang khas pada distribusi radial ini, sehingga dapat dipergunakan metode topologi jaringan. Metode topologi jaringan dapat diartikan yaitu suatu metode yang dipergunakan untuk menyelesaikan permasalahan *load flow* pada sistem distribusi radial dengan menggunakan hubungan antar cabang yang terhubung.

Metode ini, dilakukan dengan melakukan tahapan-tahapan sehingga didapatkan tegangan tiap bus, tahapan yang harus dilakukan adalah

1. Data beban dalam bentuk  $P+jQ$  dan data impedansi adalah  $R+jX$ .
2. Menentukan tegangan *base*, daya *base*, dan impedansi *base*.
3. Mencari matriks K dari bus data yang ada. Matriks ini mencari hubungan antar bus yang saling berhubungan dari bus data yang ada.
4. Semua data masukan dirubah ke dalam bentuk pu untuk memudahkan perhitungan.
5. Membangun matriks BIBC(*Bus Injection Bus Current*). Matriks ini adalah untuk mencari hubungan arus injeksi pada setiap bus. Dapat dilakukan dengan cara:

$$\mathbf{B}_5 = \mathbf{I}_6$$

$$\mathbf{B}_4 = \mathbf{I}_5$$

$$\mathbf{B}_3 = \mathbf{I}_4 + \mathbf{I}_5$$

$$\mathbf{B}_2 = \mathbf{I}_4 + \mathbf{I}_5 + \mathbf{I}_6$$

$$\mathbf{B}_1 = \mathbf{I}_2 + \mathbf{I}_3 + \mathbf{I}_4 + \mathbf{I}_5 + \mathbf{I}_6$$

Sehingga akan di dapat matriks BIBC

$$\begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 \\ \mathbf{B}_2 \\ \mathbf{B}_3 \\ \mathbf{B}_4 \\ \mathbf{B}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_2 \\ \mathbf{I}_3 \\ \mathbf{I}_4 \\ \mathbf{I}_5 \\ \mathbf{I}_6 \end{bmatrix}$$

$$[\mathbf{B}] = [\mathbf{BIBC}][\mathbf{I}] \quad (2.5)$$

6. Setelah membangun matriks BIBC, yang kemudian dilakukan adalah membentuk matriks BCBV (*Bus Current Bus Voltage*). Matriks ini dibuat dengan cara:

- $\mathbf{V}_2 = \mathbf{V}_1 - \mathbf{B}_1.\mathbf{Z}_{12}$

- $\mathbf{V}_3 = \mathbf{V}_2 - \mathbf{B}_2.\mathbf{Z}_{23}$

$$\mathbf{V}_3 = \mathbf{V}_1 - \mathbf{B}_1.\mathbf{Z}_{12} - \mathbf{B}_2.\mathbf{Z}_{23}$$

- $\mathbf{V}_4 = \mathbf{V}_3 - \mathbf{B}_3.\mathbf{Z}_{34}$

$$\mathbf{V}_4 = \mathbf{V}_1 - \mathbf{B}_1.\mathbf{Z}_{12} - \mathbf{B}_2.\mathbf{Z}_{23} - \mathbf{B}_3.\mathbf{Z}_{34}$$

- $\mathbf{V}_5 = \mathbf{V}_4 - \mathbf{B}_4.\mathbf{Z}_{45}$

$$\mathbf{V}_5 = \mathbf{V}_1 - \mathbf{B}_1.\mathbf{Z}_{12} - \mathbf{B}_2.\mathbf{Z}_{23} - \mathbf{B}_3.\mathbf{Z}_{34} - \mathbf{B}_4.\mathbf{Z}_{45}$$

- $$\mathbf{V}_6 = \mathbf{V}_3 - \mathbf{B}_5 \cdot \mathbf{Z}_{56}$$

$$\mathbf{V}_6 = \mathbf{V}_1 - \mathbf{B}_1 \cdot \mathbf{Z}_{12} - \mathbf{B}_2 \cdot \mathbf{Z}_{23} - \mathbf{B}_5 \cdot \mathbf{Z}_{56}$$

Sehingga akan di dapat matriks

$$\begin{bmatrix} \mathbf{V}_1 - \mathbf{V}_2 \\ \mathbf{V}_1 - \mathbf{V}_3 \\ \mathbf{V}_1 - \mathbf{V}_4 \\ \mathbf{V}_1 - \mathbf{V}_5 \\ \mathbf{V}_1 - \mathbf{V}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mathbf{Z}_{12} & \mathbf{Z}_{23} & 0 & 0 & 0 \\ \mathbf{Z}_{12} & \mathbf{Z}_{23} & \mathbf{Z}_{34} & 0 & 0 \\ \mathbf{Z}_{12} & \mathbf{Z}_{23} & \mathbf{Z}_{34} & \mathbf{Z}_{45} & 0 \\ \mathbf{Z}_{12} & \mathbf{Z}_{23} & 0 & 0 & \mathbf{Z}_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 \\ \mathbf{B}_2 \\ \mathbf{B}_3 \\ \mathbf{B}_4 \\ \mathbf{B}_5 \end{bmatrix}$$

$$[\Delta \mathbf{V}] = [\mathbf{BCBV}][\mathbf{B}] \quad (2.6)$$

7. Kedua persamaan di atas, disubstitusikan menjadi

$$[\Delta \mathbf{V}] = [\mathbf{BCBV}][\mathbf{BIBC}][\mathbf{I}] \quad (2.7)$$

$$[\Delta \mathbf{V}] = [\mathbf{DLF}][\mathbf{I}] \quad (2.8)$$

8. Kemudian di iterasi  $k = k+1$ .

9. Untuk mendapat  $\mathbf{I}$  tiap bus,

$$\mathbf{I}_i^k = \text{conj} \left( \frac{\mathbf{P}_i + j\mathbf{Q}_i}{\mathbf{V}_i^k} \right) \quad (2.9)$$

$$[\Delta \mathbf{V}^k] = [\mathbf{DLF}][\mathbf{I}^k] \quad (2.10)$$

Dan tegangan pada bus diperbarui, menjadi

$$[\mathbf{V}^{k+1}] = [\mathbf{V}_{no} - \text{load}] - [\Delta \mathbf{V}^k] \quad (2.11)$$

10. Kemudian jika

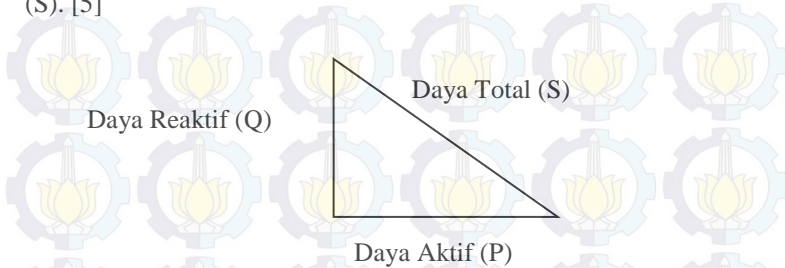
$$(|\mathbf{I}_i^{k+1}| - |\mathbf{I}_i^k|) > \text{toleransi}, \text{ maka kembali ke point 8.}$$

Setelah melakukan langkah-langkah seperti di atas, maka kita akan mampu menampilkan berapa *drop* tegangan yang dialami tiap bus.

## 2.3 Faktor Daya

Terdapat tiga macam beban listrik yaitu beban resistif, induktif, dan kapasitif. Beban resistif adalah beban yang hanya terdiri dari tahanan ohm dan hanya mengkonsumsi daya aktif (*unity*). Beban induktif menyerap daya aktif dan juga daya reaktif. Daya reaktif yang dikonsumsi oleh beban ini biasanya digunakan untuk pembentukan medan magnet putar, misalnya pada pembentukan medan mutar motor. Pada kondisi ini, tegangan tertinggal terhadap arus (*lagging*). Beban kapasitif adalah beban yang menghasilkan daya reaktif, sehingga beban

ini justru menyumbangkan daya reaktif pada sistem, misalnya kapasitor. Pada kondisi ini, tegangan mendahului arus (*leading*). Jumlah vektor dari daya reaktif (Q) dan daya aktif (P) biasa disebut dengan daya total (S). [5]



**Gambar 2.2** Segitiga Daya

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.12)$$

Setelah diketahui nilai daya aktif dan daya semu, maka kemudian dapat dihitung faktor daya dari beban tersebut. Faktor daya adalah perbandingan antara daya aktif dan daya semu. Untuk perhitungan rumusnya adalah sebagai berikut: [5]

$$\text{faktor daya } (\cos\phi) = \frac{\text{daya aktif (P)}}{\text{daya total (S)}} \quad (2.13)$$

## 2.4 Kuantitas Per Unit (PU)

Kuantitas Per Unit merupakan perbandingan kuantitas terhadap nilai dasarnya yang dinyatakan dalam bilangan desimal. Atau dengan kata lain satuan per unit adalah sistem perkalian untuk memudahkan perhitungan dalam analisis dalam satuan atau besaran yang sama pada jaringan tenaga listrik. Hasil analisis tersebut akan menghasilkan satuan satuan yang nantinya akan di ubah kedalam satuan P.U yaitu seperti tegangan (V), arus (I) dan impedansi (Z).

Transformasi perhitungan ke dalam pu tujuan sebenarnya adalah untuk mempermudah perhitungan besaran – besaran pada sistem tenaga listrik dalam satuan uyang sama. Dari satuan yang telah di ubah kedalam bentuk P.U, untuk menghitung persamaan dalam berbagai pemodelan rumus pada sistem tenaga listrik akan lebih mudah dilakukan.



$$\text{Nilai Per Unit (p.u)} = \frac{\text{Nilai sebenarnya}}{\text{Nilai Basis}} \quad (2.14)$$

Bilangan kompleks merupakan nilai yang sebenarnya, akan tetapi bilangan nyata pada persamaan merupakan nilai basis. Oleh karena itu, sudut fasa nilai dalam per-unit sama dengan sudut fasa sesungguhnya. Sebagai contoh kita ambil daya kompleks sebagai berikut :

$$S = \bar{V} \cdot \bar{I} = V \cdot I \angle (\alpha - \beta) \quad (2.15)$$

S dinyatakan dalam per-unit, S basis yang berupa bilangan nyata Dimana  $\alpha$  adalah sudut fasa tegangan dan  $\beta$  adalah sudut fasa arus. sehingga :

$$S_{pu} = \frac{S \angle (\alpha - \beta)}{S_{basis}} = S_{pu} \angle (\alpha - \beta) \quad (2.16)$$

Dapat diartikan dengan persamaan  $S_{basis} = V_{basis} \cdot I_{basis}$  nilai tersebut dapat menggunakan nilai puluhan hingga ribuan untuk memudahkan perhitungan. Jika  $S_{basis}$  sudah ditentukan maka harus memilih salah satu  $V_{basis}$  atau  $I_{basis}$  untuk ditentukan secara bebas, tetapi tidak keduanya bisa dipilih bebas. Jika  $S_{pu}$  dihitung dari persamaan (2.20) akan didapatkan :

$$S_{pu} = \frac{S}{S_{basis}} = \frac{V \angle \alpha \cdot I \angle -\beta}{S_{basis}} = V_{pu} I_{pu} \quad (2.17)$$

Nilai basis untuk impedansi ditentukan menggunakan relasi

$$Z_{basis} = \frac{V_{basis}}{I_{basis}} = \frac{V_{basis}^2}{S_{basis}} \quad (2.18)$$

Dengan  $Z_{basis}$  ini relasi  $V = I \cdot Z$  atau  $Z = V/I$  arus dan tegangan atau akan didapatkan :

$$\frac{Z}{Z_{basis}} = \frac{V/I}{V_{basis}/I_{basis}}, \text{ atau } S_{pu} = \frac{V_{pu}}{I_{pu}} \quad (2.19)$$

Karena  $Z = R + jX$  maka,

$$\frac{Z}{Z_{basis}} = \frac{R + jX}{Z_{basis}} \quad (2.20)$$

## 2.5 Kapasitor

Kapasitor adalah contoh beban yang bersifat kapasitif. Kapasitor menghasilkan daya reaktif yang dapat menyuplai kebutuhan sistem. Kapasitor bisa disebut sebagai komponen kompensator yang berfungsi untuk memperbaiki faktor daya sistem, sebagai pengatur tegangan dengan menaikkan *voltage profile* atau mengurangi adanya *drop* tegangan, maupun untuk mengurangi kerugian daya (*Ploss*), sehingga mampu meningkatkan efisiensi sistem. Beberapa fungsi lain dari pemakaian kapasitor adalah Mampu meningkatkan kemampuan pembangkitan generator, karena mendapat bantuan *supply* daya reaktif dari kapasitor. Kapasitor sebagai penyalur daya, baik pada sistem jaringan transmisi, maupun pada sistem jaringan distribusi. Kapasitor juga dapat meningkatkan kemampuan feeder dan peralatan yang ada pada sistem distribusi.

Untuk memperoleh rating tegangan dan KVA yang diinginkan atau yang dibutuhkan, maka kapasitor tersebut dapat disusun dalam standar hubungan seri maupun hubungan paralel. Yang perlu diperhatikan dalam pemasangan kapasitor pada sistem kelistrikan adalah:

1. Koefisien suhu kapasitor.
2. Daya reaktif per unit volume pada kapasitor.
3. Rugi-rugi daya pada kapasitor.
4. Reliability .
5. Harga kapasitor.

Koefisien suhu sangat berpengaruh terhadap perencanaan pemasangan kapasitor. Karena suhu yang berubah di sekitar kapasitor, dapat mempengaruhi kapasitansi dari kapasitor yang akan dipasang tersebut. Karena nilai kapasitas kapasitor yang dipasang, misalnya dalam filter, harus sesuai agar peredaman yang diharapkan dapat tercapai.

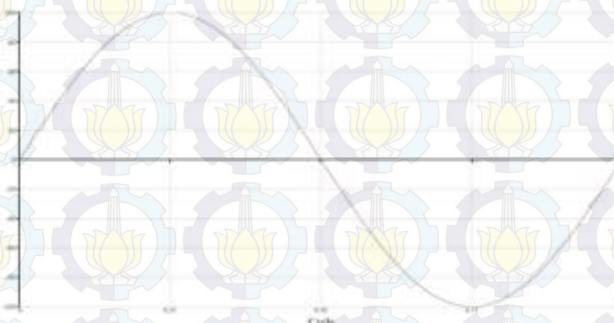
Kapasitor memiliki *losses* yang rendah, sehingga kapasitor mampu menghasilkan daya reaktif yang besar per unit volumenya. Dan juga kapasitor ini dioperasikan pada tegangan tinggi untuk mengurangi *losses* yang ada pada kapasitor itu sendiri. Penggunaan yang lama pada kondisi tegangan berlebih dari rating kapasitor sangat tidak dianjurkan, dikarenakan untuk mencegah terjadinya kerusakan dielektrik akibat panas. Rating daya reaktif kapasitor adalah penjumlahan daya reaktif pada masing-masing frekuensi yang diinginkan.

Pemasangan kapasitor pada sistem distribusi radial, akan meningkatkan kualitas daya, mengurangi arus reaktif pada saluran, hal ini menyebabkan *drop* tegangan pada saluran juga akan berkurang, sehingga tegangan pada sisi kirim tidak akan jauh berbeda dengan tegangan pada sisi terima. Dengan penambahan kapasitor, akan berpengaruh terhadap perbaikan faktor daya, karena semakin berkurangnya kebutuhan daya reaktif dari sistem.

## 2.6 Harmonisa

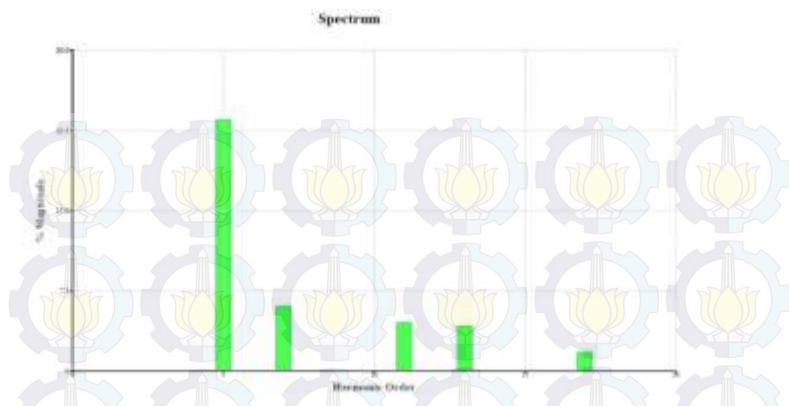
Harmonisa adalah gelombang – gelombang sinus dengan frekuensi kelipatan (*integer*) dari frekuensi sumber, yang bila digabungkan dengan gelombang sinus dengan frekuensi sumber akan menghasilkan gelombang yang terdistorsi(*non-sinus*). [4]

Harmonisa merupakan gangguan yang terjadi secara berkelanjutan pada kondisi *steady state* pada gelombang tegangan dan/atau arus AC dalam sistem tenaga listrik.

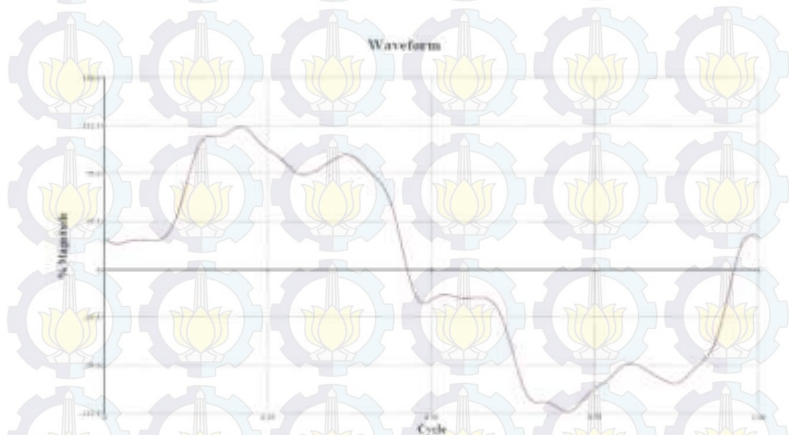


**Gambar 2.3** Bentuk gelombang pada frekuensi fundamental

Adanya harmonisa yang membentuk gelombang lain, menyebabkan adanya cacat gelombang. Karena pada gelombang sinus, gelombang-gelombang yang ada dijumlahkan. Dan gelombang harmonisa ini, frekuensinya merupakan kelipatan dari komponen gelombang dasarnya. misalnya frekuensi 150 Hz, 250 Hz, 350 Hz, dan sebagainya.



**Gambar 2.4** Bentuk spektrum harmonisa



**Gambar 2.5** Bentuk gelombang real setelah digabungkan

Pada sistem tenaga listrik, beban-beban pasif dimodelkan sebagai suatu sistem yang *linear*, sehingga sumbernya berbentuk gelombang sinusoidal murni. Perkembangan beban tidak hanya beban pasif atau beban *linear* saja, tetapi juga beban *non-linear*, beban ini menimbulkan perubahan pada bentuk gelombang fundamentalnya yang akan menambah jumlah arus harmonisa yang menginjeksi ke dalam sistem



tenaga listrik. Beban *non-linear* ini dibentuk dari komponen-komponen semi konduktor yang bekerja dengan cara *switching*. Beberapa contoh beban non linier antara lain : komputer, printer, lampu *fluorescent* yang menggunakan elektronik *ballast*, dan *variable speed drive* untuk mengatur kecepatan motor.

Arus harmonisa yang ditimbulkan oleh beban *non-linear* ini mengganggu dan merusak beban yang mempunyai sensitifivitas tinggi dan juga menyebabkan banyak masalah pada sistem tenaga listrik, sehingga banyak dilakukan riset mengenai harmonisa.

### 2.6.1 Tegangan Harmonisa

Perhitungan tegangan harmonisa dihitung dengan cara mengalikan matrik impedansi bus ( $Z_{bus}$ ) dengan arus harmonisa yang dihasilkan oleh sumber harmonisa, misalnya Beban statis.

Tegangan harmonisa pada bus pada frekuensi harmonisa dihitung dengan cara mengubah matriks  $Z_{bus}$  untuk frekuensi-frekuensi yang bersangkutan, dan besar tegangan totalnya, yaitu tegangan pada frekuensi fundamental dan tegangan pada frekuensi-frekuensi harmonisa pada setiap bus dipenuhi dengan hubungan sebagai berikut :[7]

$$V_{rms} = \sqrt{V_{5\ rms}^2 + V_{7\ rms}^2 + V_{11\ rms}^2 + V_{13\ rms}^2 + \dots} \quad (2.21)$$

### 2.6.2 Distorsi Harmonisa

*Individual Harmonic Distortion* (IHD) adalah rasio antara nilai RMS dari harmonisa individual dan nilai RMS dari fundamental. [4]

*Total Harmonic Distortion* (THD) yang didefinisikan sebagai persentase total komponen harmonisa terhadap komponen fundamentalnya. *Total Harmonic Distortion* (THD) dituliskan sebagai :

$$THD_i(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^n (V_i^{(h)})^2}{V_i^1}} \times 100\% \quad (2.22)$$

Dimana :

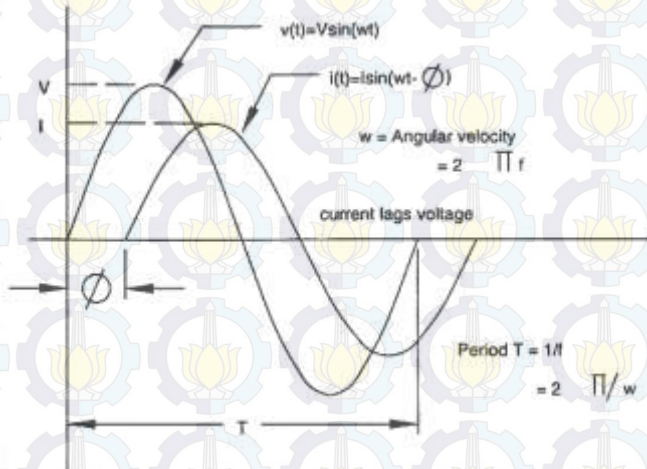
$V_i^{(h)}$  = tegangan harmonisa ke-h yang diinginkan

$V_i^1$  = tegangan fundamental

n = komponen harmonisa maksimum yang diinginkan

### 2.6.3 Pengaruh Harmonisa pada Kapasitor

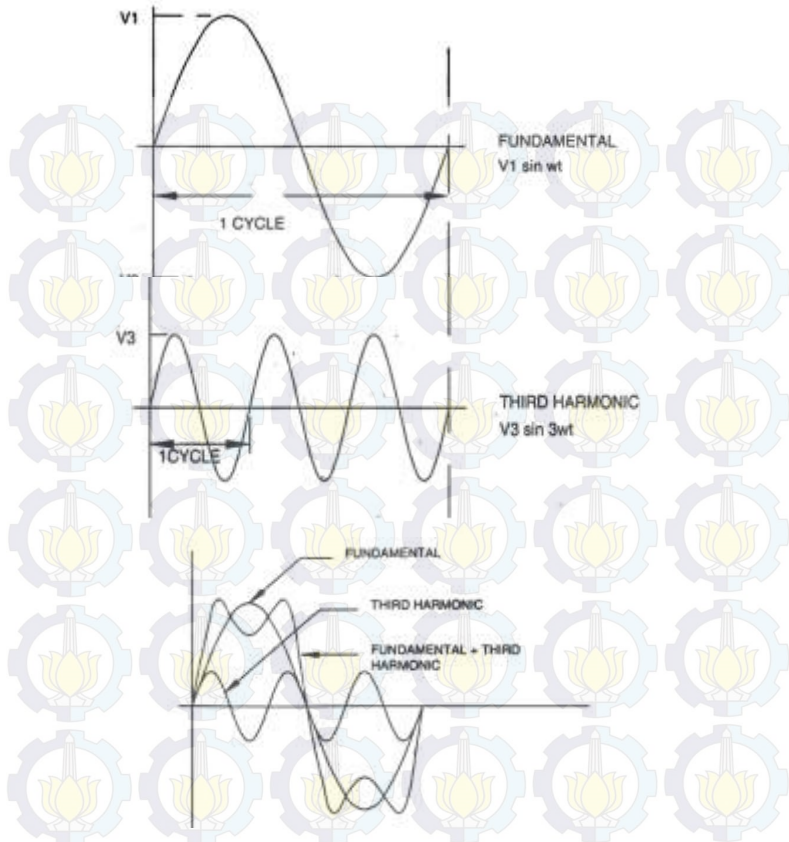
Resonansi seri dan paralel antara kapasitor dan sistem dapat menyebabkan arus besar dan tegangan lebih yang dapat meningkatkan rugi-rugi yang tinggi dan panas yang berlebih pada kapasitor yang sering menyebabkan kerusakan kapasitor tersebut.



**Gambar 2.6.** Gelombang Sinus Arus dan Tegangan  
ANSI/IEEE Standard 18-1980 menyatakan batasan pemakaian kapasitor pada frekuensi dasar dan harmonisa :

- kVar kapasitor pada frekuensi dasar dan harmonisa tidak melebihi 135% kVar nameplatennya.
- Tegangan rms kapasitor pada frekuensi dasar dan harmonisa tidak melebihi 110% rating tegangannya.
- Arus rms kapasitor pada frekuensi dasar dan harmonisa tidak melebihi 180% rating arusnya.
- Tegangan kapasitor tidak melebihi 120% tegangan puncaknya.

Gelombang non sinusoidal dapat terbentuk dengan menjumlahkan gelombang – gelombang sinusoidal, seperti terlihat pada gambar 2.7.



**Gambar 2.7.** Gelombang Fundamental, Harmonik Ketiga dan Hasil Penjumlahannya

## 2.7 Pengertian HPF (*Harmonic Power Flow*)

*Harmonic Power Flow* (HPF) merupakan suatu cara penyelesaian permasalahan perhitungan sistem yang terdistorsi oleh adanya harmonisa. [3]

Pada tugas akhir ini akan dibahas metode Backward-Forward Sweep untuk menganalisa harmonisa yang ada pada sistem. Dengan metode ini, terdapat 2 langkah pengerjaan, yaitu saat *backward sweep*

dan *forward sweep*. *Backward sweep* digunakan untuk membangun matriks antara arus cabang dan arus injeksi cabang dari sistem distribusi. *Forward Sweep* digunakan untuk menghitung tegangan bus.

Untuk menggunakan metode ini, dapat dilakukan dengan beberapa *step*, yaitu:

1. Menghitung impedansi beban yang disuplai.
2. Membangun matriks A. Dalam membangun matriks ini, terdapat 2 macam harmonisa, yang disebabkan oleh beban *non linear* dan impedansi *linear*, dan juga dari *shunt device*. A merupakan vektor koefisien dari arus harmonisa pada bus. Digunakan backward current sweep untuk membangun matriks A ini

$$A = [H_1 \quad H_{n_h} : S_1 \quad S_{n_s}]^T \quad (2.23)$$

$$A_{45} = [0 \quad 1 : 0 \quad 0]^T$$

$$A_{36} = [0 \quad 0 : 0 \quad 1]^T$$

$$A_{34} = [0 \quad 1 : 1 \quad 0]^T$$

$$A_{23} = [1 \quad 1 : 1 \quad 1]^T$$

$$A_{12} = [1 \quad 1 : 1 \quad 1]^T$$

3. Dari matriks A tersebut, kemudian untuk menghitung drop tegangan tiap bus

$$\Delta V_{ij}^{(h)} = Z_{ij}^{(h)} [A_{ij}^{(h)}]^T [I^h] \quad (2.24)$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{12}^{(h)} &= Z_{12}^{(h)} [A_{12}^{(h)}]^T [I^h] \\ &= Z_{12}^{(h)} (I_{h_1}^{(h)} + I_{h_2}^{(h)} + I_{s_1}^{(h)} + I_{s_2}^{(h)}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{23}^{(h)} &= Z_{23}^{(h)} [A_{23}^{(h)}]^T [I^h] \\ &= Z_{23}^{(h)} (I_{h_1}^{(h)} + I_{h_2}^{(h)} + I_{s_1}^{(h)} + I_{s_2}^{(h)}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{34}^{(h)} &= Z_{34}^{(h)} [A_{34}^{(h)}]^T [I^h] \\ &= Z_{34}^{(h)} (I_{h_2}^{(h)} + I_{s_1}^{(h)}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{36}^{(h)} &= Z_{36}^{(h)} [A_{36}^{(h)}]^T [I^h] \\ &= Z_{36}^{(h)} (I_{s_2}^{(h)}) \end{aligned}$$

$$\Delta V_{45}^{(h)} = Z_{45}^{(h)} [A_{45}^{(h)}]^T [I^h]$$



$$= Z_{45}^{(h)} (I_h^{(h)})$$

4. Kemudian membentuk matriks HA. Matriks HA merupakan matiks antara vector tegangan dan vektro arus harmonisa sistem.

$$HA = [H_1 \quad H_{n_h} \quad : \quad S_1 \quad S_{n_s}] \quad (2.25)$$

$$[V^{(h),k}] = [HA^{(h),k}] [I^{(h),k}] \quad (2.26)$$

5. Kemudian membentuk matriks Hass dan Hash.

$$\left( [HA_{ss}^{(h),k}] + \begin{bmatrix} ZS_1^{(h)} & & \\ & ZS_{n-1}^{(h)} & \\ & & ZS_n^{(h)} \end{bmatrix} \right) [I_s^{(h),k}] = -[HA_{sh}^{(h),k}] [I_h^{(h),k}]$$

### 2.7.1 Batas Nilai Tegangan dan Arus Harmonisa

Mengacu pada standar dari IEEE 519-1992, terdapat dua hal yang digunakan untuk melakukan analisa distorsi harmonisa yaitu distorsi arus dan distorsi tegangan. Untuk sistem dengan tegangan 69kV dan di bawahnya, batas *Total Harmonic Distortion* (THD) adalah sebesar 5% dengan batas *Individual Harmonic Distortion* sebesar 3%. Berikut ini adalah tabel dari batas tegangan dan arus yang sesuai dengan standar IEEE 519-1992.

**Tabel 2.1** Batas Distorsi Tegangan

Tegangan Sumber	Distorsi Tegangan Individu(%)	THD(%)
Di bawah 69kV	3.0	5.0
69kV – 161kV	1.5	2.5
Di atas 161kV	1.0	1.5

**Tabel 2.2** Batas Distorsi Arus

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of $I_L$						
$I_{sc}/I_L$	Individual Harmonic Order (Odd Harmonic)					
	$<11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 35$	$35 \leq h$	THD
$< 20^*$	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20 – 50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50 – 100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100 – 1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
$> 1000$	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

## 2.8 Algoritma *Direct Search*

Algoritma *Direct Search* adalah metode heuristik yang dilakukan sesuai dengan pedoman teknis dasar yang dikembangkan berdasarkan pengalaman dalam pedoman praktis (Aman, MM et al, 2014). Algoritma ini dapat bekerja cepat dan efektif dengan mempersempit ruang pencarian berdasarkan strategi praktis. Metode ini dapat dilakukan dengan menggunakan sensitivitas node, pertimbangan biaya, atau sensitivitas indeks tegangan untuk mencapai nilai yang objektif. Pendekatan umum untuk algoritma ini adalah dengan menggunakan analisis sensitivitas kerugian untuk mengidentifikasi penempatan inital kapasitor.

### 2.8.1 Fungsi Objektif

Algoritma *Direct Search* digunakan untuk menghasilkan lokasi yang optimal dengan ukuran yang sesuai kapasitor yang mengakibatkan kerugian daya aktif menjadi minimum dan penghematan bersih maksimal tanpa harmonik 7 pertimbangan (Raju, et al, 2012). Algoritma ini juga mempertimbangkan tiga tingkat beban yang ringan, nominal dan puncak. Kondisi ini akan menempatkan kapasitor ukuran yang berbeda yang akan cocok untuk tingkat beban yang berbeda di lokasi yang

optimal untuk meminimalkan total fungsi biaya. Adapun untuk perumusannya yaitu :

$$F = K_p \cdot P_{loss} + \sum_{i=1}^{ncap} K_{ci} Q_{ci} \quad (2.27)$$

dimana,

$K_p$  = Rugi daya aktif biaya tahunan per unit (US\$ kW/tahun)

$K_{ci}$  = Rugi daya reaktif biaya tahunan per unit (US\$ kVAr/tahun)

$Q_{ci}$  = Injeksi daya reaktif pada bus-I (kVAr)

Ncap = Total unit daya reaktif yang di pasang

$P_{loss}$  = Total rugi daya (kW)

Total rugi daya dapat di hitung dengan menggunakan :

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{nbranch} P_{loss^i} + \sum_{i=0}^{nbranch} \sum_{h=h_0}^{hmax} P_{loss^h} \text{ (kW)} \quad (2.28)$$

Dimana,

nbranch = nomor cabang

Harga dari rugi diasumsikan USD 168 kW/tahun mengacu referensi (Eajal dan El-Hawary,2010). Disebutkan bahwa harga ini berdasar hubungan antara harga energy, waktu penggunaan untuk rugi – rugi per tahun dan faktor kapasitas sistem. Dijelaskan kapasitas faktor dari generator diasumsikan PLTG (Jordanger, *et al*, 2001) dengan kapasitas turbin pembakaran konvensional sekitar 32%. Sistem diasumsikan digunakan dalam 24 jam perhari dalam satu tahun.

$$K_p = \text{harga energi} \times \text{waktu penggunaan (setahun)} \times \text{pf} \quad (2.29)$$

$$K_p = \left( 0.06 \frac{\text{US\$}}{\text{kWh}} \right) \times (8760 \text{ jam}) \times (0.32) = 168.2 \frac{\text{US\$}}{\text{kWh}} \text{ pertahun}$$

Keterangan :

Harga rata-rata energi = 0.06 US\$/kWh (Fergany and Abdelaziz, 2014)

Capacity Factor PLTG = 30 -35 %

(\*sumber = *Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2014*, [www.eia.gov/forecasts/aeo/electricity\\_generation.cfm](http://www.eia.gov/forecasts/aeo/electricity_generation.cfm), Date of release : 17 april 2015, diakses: 15 mei 2015)

bila dibandingkan dengan kerugian daya di frekuensi fundamental, nilai total kerugian daya distorsi harmonik relative kecil. Meskipun pada porsi harmonik, kerugian ini dapat ditingkatkan sesuai dengan peningkatan injeksi arus harmonik dengan sumber harmonisa dan polusi harmonik dalam peralatan dan sistem

### 2.8.2 Loss Sensitivity Factor

*Loss Sensitivity Factor* digunakan untuk meminimalkan ruang pencarian. *Direct Search Alghorithm* digunakan untuk menghasilkan fungsi objektif minimum yang berarti dengan penempatan dan nilai yang tepat dari kapasitor, dan akhirnya didapat nilai fungsi objektif yang minimum. Fungsi objektif berisi total biaya kerugian daya yang dikompensasi sejumlah pemasangan kapasitor. Subbab berikutnya akan menjelaskan tentang setiap bagian untuk membuat *direct search algorithn* untuk penempatan dan nilai kapasitor[11].

$$\frac{\partial P_{rugi-rugi} [j]}{\partial Q_{eff} [j]} = \frac{(2 * P_{eff} [j] * R[k])}{(V[j])^2} \quad (2.30)$$

$$\frac{\partial Q_{rugi-rugi} [j]}{\partial Q_{eff} [j]} = \frac{(2 * Q_{eff} [j] * X[k])}{(V[j])^2} \quad (2.31)$$

$$\frac{\partial P_{rugi-rugi}}{\partial Q_{rugi-rugi}}$$

$$\frac{\partial Q_{rugi-rugi}}{\partial Q_{rugi-rugi}}$$

Keterangan :

$P_{eff} [j]$ =Total daya aktif yang efektif disuplai di luar bus j

$Q_{eff} [j]$ =Total daya reaktif yang efektif disuplai di luar bus j





## **BAB 3**

### **METODE DAN PEMASANGAN KAPASITOR**

Peletakan dan mengatur nilai kapasitor pada jaringan distribusi radial terdistorsi harmonik bertujuan untuk mengurangi rugi tegangan pada *plant*. Kapasitor tersebut juga bisa menaikkan faktor daya pada jaringan distribusi.

#### **3.1 Perencanaan Pemasangan Kapasitor**

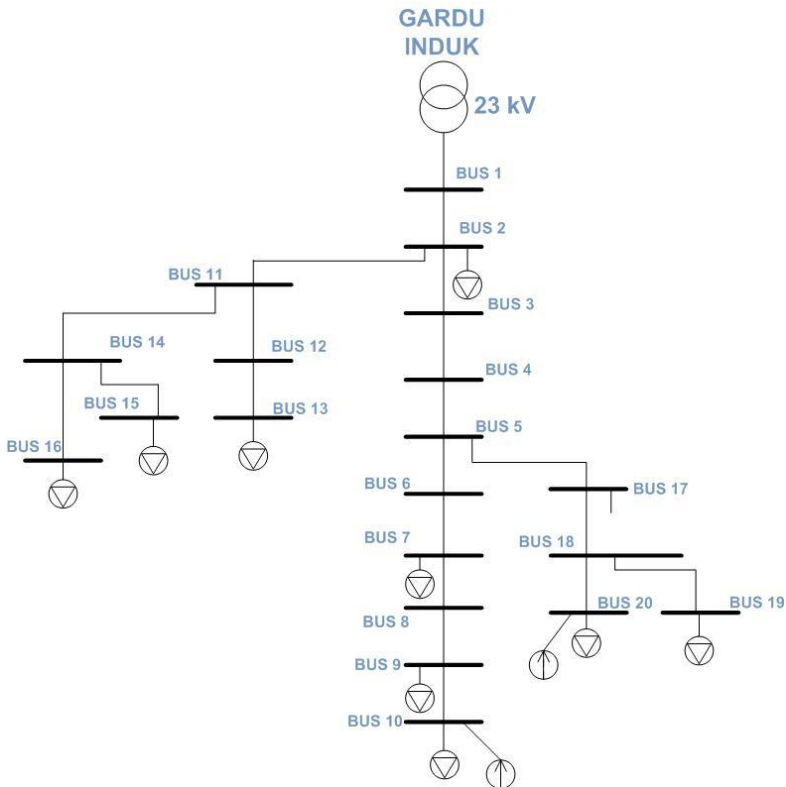
Pemasangan kapasitor harus memperhatikan THD (*Total Harmonic Distortion*) setiap bus yang ada di *plant*. Dalam melakukan perencanaan terdapat beberapa komponen yang harus di perhatikan yaitu tegangan bus, arus bus, dan rugi – rugi daya akibat adanya THD pada tiap bus. Standart toleransi nilai THD yang di ijinakan sebesar 5%.

##### **3.1.1 Perencanaan Kapasitor**

Perencanaan pemasangan Kapasitor untuk menaikkan *voltage profile* dan mengurangi daya yang hilang yang ada pada sistem distribusi radial dalam sistem 3 fasa seimbang merupakan langkah pertama yang akan di ambil. Tahapan yang harus di putuskan adalah sebagai berikut : .

- 1) Mengetahui data impedansi atau kabel pada saluran dan mengetahui besar daya beban yang tersambung ke jaringan distribusi radial.
- 2) Mengetahui tegangan dan arus pada system. Syarat under voltage tegangan system tidak boleh melebihi 5% dari nilai 1 p.u.
- 3) mengetahui data THD dari sumber harmonisa yang terpasang pada bus di dalam jaringan distribusi radial sehingga bisa di ketahui orde harmonisa yang di injeksikan ke system. Besar nilai THD tergantung pada berapa banyak sumber harmonisa yang di pasangkan pada jaringan distribusi radial.

Berikut ini merupakan gambaran secara umum dari sistem yang harus diketahui sebelum memasang kapasitor.

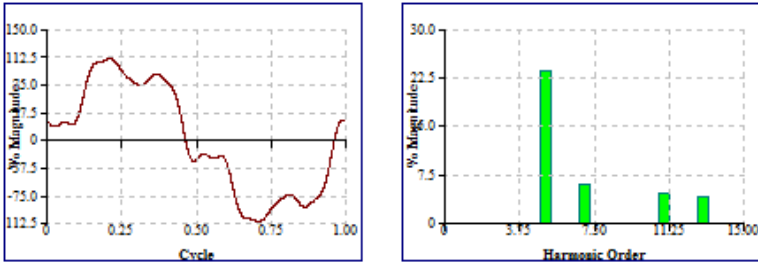


**Gambar 3.1** Jaringan Distribusi 20 bus 3 fasa seimbang yang terdistorsi harmonik

Sebuah contoh *plant* 10 bus pada sistem distribusi radial 1 fasa atau dalam keadaan seimbang, sistem ini disuplai oleh 1 gardu induk pada gambar (3.1) . Pada sistem di atas, sistem mengalami gangguan harmonisa, terlihat adanya THD yang muncul pada setiap bus. Karena pada sistem di atas, terdapat komponen yang menghasilkan harmonisa. Maka ini adalah perencanaan pemasangan kapasitor untuk menaikkan *voltage profile* dan juga mengurungi rugi-rugi daya.

Untuk perencanaan penempatan pemasangan kapasior, maka pada konsep tugas akhir ini berdasarkan bus dengan rugi-rugi daya terbesar yang ada pada tiap bus, dengan batasan THD tiap bus tidak boleh di atas 5%, dan tegangan tiap bus tidak boleh melebihi 1,01 pu.

Di bawah ini merupakan contoh harmonisa yang dihasilkan oleh sumber harmonisa.



**Gambar 3.2** Contoh Bentuk Gelombang dan Spektrum Harmonisa

Dari contoh gambar (3.2) Dari contoh bentuk gelombang dan spektrum gelombang di atas, orde harmonisa terbesar berada pada orde ke-5, di ikuti oleh orde ke-7 dan ke-11, kemudian orde paling kecil berada pada orde ke-13. Penentuan lokasi kapasitor yang kurang tepat akan menyebabkan sistem yang memiliki THD dapat bertambah besar. Namun, jika peletakan kapasitor tepat, maka akan mengurangi THD sistem karena mengalami resonansi induktif.

### 3.1.2 Proses Perhitungan Matriks

Dari dua matriks yang telah dibangun yaitu BIBC dan BCBV, di mana matriks BIBC merupakan hubungan antara arus yang diinjeksikan ke bus dan arus di saluran, sedangkan BCBV adalah hubungan antara arus saluran dan tegangan di bus. Dengan mengkombinasikan kedua hubungan tersebut maka dapat dihitung untuk nilai drop tegangan atau  $\Delta V$  sebagai berikut :

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (3.1)$$

$$= [DLF][I] \quad (3.2)$$

Dan perhitungan untuk aliran daya distribusi dapat diselesaikan dengan persamaan (3.3) :

$$I_i^k = \left( \frac{P_i + jQ_i}{V_i^k} \right)^* \quad (3.3)$$

Sehingga

$$[\Delta V^k] = [DLF][I^k] \quad (3.4)$$

Apabila nilai  $\Delta V$  sudah diperoleh, maka untuk perhitungan tegangan bus atau  $V$  dapat dengan mudah didapatkan dengan persamaan sebagai berikut

$$V^k = V_0 - \Delta V^k \quad (3.5)$$

Pada sistem tiga fasa seimbang maka nilai  $V_0$  ditentukan di awal sebelum masuk ke proses iterasi yaitu 1 p.u,

Sehingga secara keseluruhan proses perhitungan dapat ditulis dalam sebuah algoritma dan gambar (3.4) *flowchart* sebagai berikut :

1. Input data berupa data saluran dan beban.
2. Membangun matriks BIBC.
3. Membangun matriks BCBV.
4. Membangun matriks DLF
5. Iterasi mulai dari  $k=0$ .
6. Iterasi berlanjut untuk  $k=k+1$ .
7. Perhitungan aliran daya dengan persamaan (3.3) dan (3.4)

$$I_i^k = \left( \frac{P_i + jQ_i}{V_i^k} \right)^*$$

$$[\Delta V^k] = [DLF][I^k]$$

Memperbarui nilai tegangan berdasarkan iterasi dengan persamaan (3.5)

$$V^k = V_0 - \Delta V^k$$

8. Perhitungan nilai error dengan toleransi yang telah ditentukan.
9. Selesai.

### 3.2 Perhitungan Aliran Daya Harmonisa

Setelah melakukan analisis aliran daya untuk sistem distribusi pada gambar 3.2, telah didapatkan nilai tegangan  $V$  untuk tiap bus dan juga arus  $I$  untuk tiap bus yang baru. Tegangan yang telah didapatkan merupakan nilai tegangan fundamental atau  $V_0$  yang nantinya akan digunakan untuk menghitung nilai  $THD_V$ .

### 3.2.1 Analisis Harmonisa Metode Konvensional

Metode yang banyak digunakan untuk melakukan analisis harmonisa adalah dengan menggunakan matriks admitansi, yaitu :

$$[Y^{(h)}] [V^{(h)}] = [I^{(h)}] \quad (3.6)$$

Di mana :

$[Y^{(h)}]$  = matriks admitansi pada harmonisa orde h

$[V^{(h)}]$  = vektor tegangan bus pada harmonisa orde h

$[I^{(h)}]$  = vektor arus injeksi pada harmonisa orde h

Dikarenakan nilai dari  $[Y^{(h)}]$  dan  $[I^{(h)}]$  selalu berbeda untuk tiap orde harmonisa, maka metode konvensional akan membutuhkan waktu yang lama dalam perhitungannya sehingga untuk analisis harmonisa terutama untuk sistem distribusi radial yang panjang digunakan metode *forward-backward*.

Setelah tegangan untuk setiap harmonisa diperoleh maka nilai THD (*Total Harmonic Distortion*) tegangan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$THD_i(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n (V_i^{(h)})^2}}{V_i^1} \times 100\% \quad (3.7)$$

Dimana :

$V_i^{(h)}$  = tegangan harmonisa ke-h yang diinginkan

$V_i^1$  = tegangan fundamental

n = komponen harmonisa maksimum yang diinginkan

### 3.2.2 Analisis Harmonisa Dengan Menggunakan *Forward-Backward Sweep*

Sistem arus harmonisa dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu :

1. Arus harmonisa yang dihasilkan beban nonlinier dan arus dari impedansi ekuivalen beban linier
2. Arus harmonisa yang dihasilkan oleh *shunt* kapasitor  
Oleh sebab itu sistem untuk arus harmonisa dapat ditulis dalam sebuah vektor  $I^{(h)}$  seperti persamaan berikut :

$$[I^{(h),k}] = \begin{bmatrix} Ih^{(h),k} \\ \dots \\ Is^{(h),k} \end{bmatrix}$$

Di mana :

$[I^{(h)}]$  = vektor dari sistem harmonisa pada orde ke-h.

$[Ih^{(h)}]$  = vektor dari sistem harmonisa yang dihasilkan oleh arus beban non-linier dan juga arus dari beban linier.

$[Is^{(h)}]$  =vektor dari sistem harmonisa yang dihasilkan oleh *shunt* kapasitor.

Perhitungan arus injeksi dari beban linier dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut :

$$Ih_i^{(h)} = \frac{V_i^{(h)}}{Z_i^{(h)}} \quad (3.8)$$

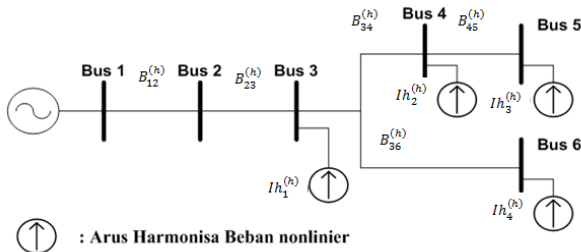
Dimana :

$Ih_i^{(h)}$  = arus injeksi beban nonlinier pada bus  $i$  pada harmonisa orde  $h$

$V_i^{(h)}$  = tegangan harmonisa pada bus  $i$  harmonisa orde  $h$

$Z_i^{(h)}$  = impedansi ekivalen dari beban linier pada bus  $i$  harmonisa ke  $h$

Untuk sistem distribusi dengan  $m$  sumber harmonisa dan  $n$  beban nonlinier, maka vektor  $[I^{(h)}]$  akan berukuran  $(m+n) \times 1$ . Berikut ini contoh dari sistem distribusi radial enam bus dengan empat beban nonlinier sebagai sumber arus harmonisa. Sehingga, untuk gambar 3.3 ukuran vektor  $[I^{(h)}]$  adalah  $(4) \times 1$ .



**Gambar 3.3** Sistem distribusi dengan beban non-linier.

Selanjutnya adalah menentukan vektor untuk sistem arus harmonisa yang melewati saluran i dan j, di mana koefisien untuk vektor tersebut berisi 1 bila saluran dilewati arus harmonisa baik dari sumber harmonisa maupun beban nonlinier, apabila saluran tidak terlewati arus harmonisa maka vektor berisi 0. Koefisien untuk vektor tersebut dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$[A_{ij}^{(h),k}] = \begin{bmatrix} Ah_{ij}^{(h),k} \\ \dots \\ As_{ij}^{(h),k} \end{bmatrix}$$

Di mana :

$$\begin{aligned} [A_{ij}^{(h),k}] &= \text{koefisien vektor arus harmonisa yang melewati saluran} \\ [Ah_{ij}^{(h),k}] &= \text{koefisien vektor dari sumber harmonisa dan beban non-} \\ &\quad \text{linier} \\ [As_{ij}^{(h),k}] &= \text{koefisien vektor } shunt \text{ kapasitor} \end{aligned}$$

Untuk sistem distribusi pada gambar 3.3, didapatkan koefisien vektor arus harmonisa yang melewati saluran sistem tersebut sebagai berikut :

$$[A^{(h)}] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Dengan menggunakan algoritma *backward* kita dapat mendapat vektor  $[A^{(h)}]$  untuk sistem distribusi tersebut. Di mana jumlah baris menyatakan jumlah saluran sedangkan jumlah kolom menyatakan jumlah dari beban nonlinier yang terpasang. Elemen matriks akan berisi 1 apabila saluran tersebut dilewati oleh arus harmonisa dan 0 apabila saluran tidak dilewati oleh arus harmonisa.

Langkah selanjutnya adalah menentukan matriks yang disebut [HA], yaitu matriks hubungan antara vektor tegangan bus dengan sistem arus harmonisa, dengan kata lain matriks [HA] dapat diperoleh dengan



memperhatikan hubungan antara matriks [A] dan matriks [BCBV] dari metode topologi jaringan untuk mencari tegangan fundamentalnya.

Berikut ini merupakan hasil matriks [HA] dari hubungan matriks [A] dan matriks [BCBV] sistem distribusi gambar 3.3 :

$$[BCBV] = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{56} \end{bmatrix}$$

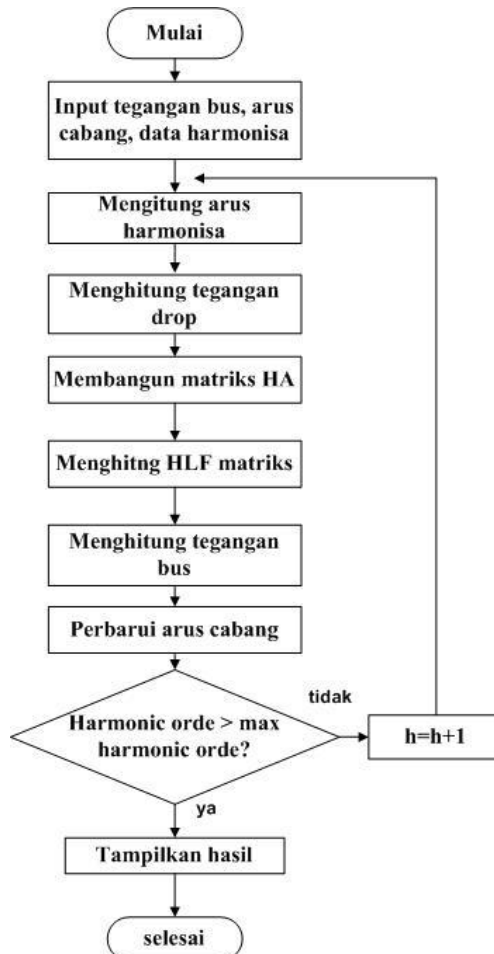
$$[A^{(h)}] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Pada matriks [A] kolom pertama baris satu dan dua (1, 1:2) berisi koefisien 1, sehingga untuk elemen matriks [HA] kolom pertama adalah penjumlahan elemen matriks kolom satu dan kolom dua dari matriks [BCBV], cara tersebut dilanjutkan untuk mengisi matriks [HA] hingga kolom empat.

$$\begin{bmatrix} Z_{12}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} \\ Z_{12}^{(h)} + Z_{13}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{13}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{13}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{13}^{(h)} \\ Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} + Z_{34}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} + Z_{34}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} \\ Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} + Z_{34}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} + Z_{34}^{(h)} + Z_{45}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{13}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} \\ Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{13}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{13}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} \end{bmatrix}$$

Jika matriks [HA] sudah diperoleh, maka untuk langkah selanjutnya adalah mencari nilai  $[Ih^{(h)}]$  yang nantinya akan digunakan untuk menghitung nilai tegangan harmonisa. Matriks [HA] di atas dapat dibagi lagi menjadi dua, yaitu matriks  $[HA_{sh}]$  dan matriks  $[HA_{ss}]$  yang masing-masing merupakan koefisien untuk bus yang terdapat sumber harmonisa dan koefisien untuk bus yang terdapat beban berupa *shunt* kapasitor.

Dalam tugas akhir ini dilakukan analisis harmonisa yang disebabkan oleh beban non-linier dan juga impedansi beban linier tanpa memperhitungkan harmonisa yang disebabkan oleh penambahan kapasitor *shunt*.



**Gambar 3.4** Flowchart analisis aliran daya harmonisa pada sistem distribusi

Setelah mendapatkan nilai  $[HA]$  dan nilai  $[I^{(h),k}]$ , maka untuk menghitung nilai  $[V^{(h)}]$  dapat digunakan persamaan :

$$[V^{(h)}] = [HA^{(h)}] [I^{(h)}] \quad (3.9)$$

Di mana :

$[V^{(h)}]$  = nilai tegangan harmonisa pada orde ke  $h$

Arus saluran dari sistem arus harmonisa dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut :

$$B_{ij}^{(h),k} = [A_{ij}^{(h),k}] [I^{(h),k}] \quad (3.10)$$

Sedangkan untuk drop tegangan dari vektor harmonisa, dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut :

$$\Delta V_{ij}^{(h),k} = Z_{ij}^{(h)} [A_{ij}^{(h),k}] [I^{(h),k}] \quad (3.11)$$

Algoritma *forward-backward* untuk analisis harmonisa dalam suatu sistem distribusi akan dilakukan dalam beberapa kali iterasi untuk tiap ordenya hingga didapatkan nilai akhir dengan error minimum. Iterasi akan berhenti jika persamaan berikut terpenuhi.

$$[V_i^{(h),k+1} - V_i^{(h),k}] \leq \text{Error} \quad (3.12)$$

Di mana nilai error merupakan nilai toleransi yang telah ditentukan untuk tiap tegangan harmonisa pada bus  $i$  dan orde harmonisa ke  $h$ . Setelah nilai toleransi mencapai nilai yang sesuai dengan yang kita inginkan, maka tingkat THD<sub>v</sub> dapat diketahui

Dari seluruh penjelasan mengenai langkah-langkah untuk melakukan studi aliran daya menggunakan metode topologi jaringan maupun langkah-langkah untuk melakukan studi aliran daya harmonisa, dapat dituliskan dalam suatu diagram alir atau *flowchart* yang mencakup dua metode tersebut. Gambar 3.5 adalah *flowchart* dari sistem secara keseluruhan.

### 3.3 Metode Pemasangan Kapasitor

Setelah melakukan simulasi program *harmonic load flow*, maka dapat diketahui bus mana saja yang memiliki daya yang besar dan juga nilai THD dan tegangan busnya. Kemudian penentuan lokasi kapasitor dilakukan dengan menggunakan metode faktor sensitivitas kerugian daya, kemudian dilakukan optimasi dengan *Direct Search*. Tahapan selanjutnya adalah menentukan kapasitas kapasitor. Hal ini dimaksudkan

agar kapasitor yang dipasang tidak membuat tegangan bus terlalu tinggi di atas 1.01 pu.

Berikut ini langkah-langkah dalam pemasangan kapasitor pada sistem distribusi radial.

1. Harus menentukan nilai kapaitor terlebih dahulu. Dengan acuan daya reaktif Var kapasitor tidak boleh melebihi daya reaktif Var beban. Hal ini bertujuan agar tegangan sistem tidak melebihi batas sampai 1.01 p.u yang mengakibatkan *over voltage*.
2. Dengan nilai kapasitor yang ada, maka dapat ditentukan nilai impedansi Xc dari kapasitor dan daya reaktif Var yang diberikan ke sistem. Dapat digunakan dengan rumus

$$C = V_{base}^2 / (2 * 3.14 * f_{sistem} * Qc) \quad (Var) \quad (3.13)$$

$$Xc = \frac{1}{2 * 3.14 * f_{sistem} * C} \quad (\Omega) \quad (3.14)$$

Keterangan:

$f_{sistem}$  = frekuensi fundamental sistem (Hz)

$Qc$  = daya reaktif yang diberikan oleh kapasitor (Var)

$C$  = nilai kapasitor (F)

$V_{base}$  = tegangan dasar (V)

$Xc$  = impedansi kapasitor ( $\Omega$ )

### 3.4 Metode *Direct Search*

Alokasi kompensator reaktif shunt dapat dilakukan dengan algoritma pencarian sederhana yaitu dengan menggunakan metode *Direct Search*. Metode *Direct Search* akan menentukan ukuran yang sesuai dan lokasi kapasitor yang mengacu pada parameter sensitivitas kerugian daya maupun tegangan pada masing masing bus pada sistem.[10].

Dengan menggunakan fungsi LSF untuk meminimalkan ruang pencarian optimasi ini. Algoritma *Direct Search* digunakan untuk menghasilkan fungsi objektif minimum yang berarti bahwa dengan menempatkan ukuran yang tepat dan lokasi kapasitor shunt, kerugian daya minimum aktif dan penghematan bersih maksimal dengan pertimbangan harmonik yang akan diperoleh.

Fungsi objektif digunakan untuk menghasilkan total biaya kerugian daya yang dapat dikompensasi karena instalasi pada beberapa jumlah kapasitor yang dipasang pada sistem. Dengan hasil simulasi fungsi objektif dan LFS, akan didapatkan penempatan lokasi dan nilai

kapasitor yang optimal. Subbagian berikut akan menjelaskan langkah – langkah untuk membangun algoritma *Direct Search* untuk penempatan kapasitor yang optimal dan ukuran kapasitor yang optimal.

Langkah-langkah yang dilakukan pada adalah sebagai berikut:

1. Untuk menjalankan program *Direct* di butuhkan beberapa untuk menyusun program diantaranya data beban, bus tegangan, dan impedansi saluran. simulasi tersebut untuk menghitung aliran daya dan menghasilkan tegangan dan arus.
2. Setelah tegangan dan arus diperoleh, data tersebut akan digunakan untuk menghitung daya pada setiap bus. Kemudian, menghitung fungsi objektif sebelum dipasang kapasitor kemudian simpan hasil dari perhitungan fungsi objektif untuk analisa selanjutnya.
3. Setelah mensimulasikan program load flow dan diperoleh nilai rugi daya, selanjutnya menghitung *Loss Sensitivity Factor* (LSF) dan diurutkan. Bus yang mempunyai rugi daya paling tinggi merupakan bus yang dijadikan kandidat untuk pengkompensasian daya reaktif.
4. Dengan menggunakan LSF, lokasi kapasitor bisa ditentukan dengan mempertimbangkan rugi daya terbesar dari bus sistem dan .
5. Kapasitor ditempatkan di kandidat bus. Setelah itu, loadflow dilakukan lagi untuk menghitung kerugian setelah pemasangan kapasitor
6. Dengan melakukan simulasi dan menghasilkan fungsi biaya dari pemasangan kapasitor, simulasi loadflow dilakukan kembali untuk perhitungan rugi daya dan mendapatkan profil tegangan yang ideal.
7. Hasil simulasi akan diperiksa kembali apakah setelah pemasangan kapasitor, tegangan melebihi standart yang di inginkan. Jika melebihi maka kapsitor harus di ganti.
8. Setelah itu fungsi objektif di hitung, kemudian menyimpan nilai fungsi objektif yang minimum dan indeks lokasi dan nilai kapasitor akan disimpan.
9. Memeriksa daya reaktif yang telah dikompesasi oleh kapasitor. Jika daya reaktif yang di kompensasikan dibawah permintaan kapasitas daya reaktif, maka yang dilakukan adalah menambah kapasitor. Sedangkan bila melebihi kapasitas permintaan, maka proses akan di hentikan dan nilai yang terakhir akan disimpan sebagai nilai yang digunakan. Kemudian, ulangi langkah berikut 6-8

### 3.5 Perhitungan Resonansi Kapasitor

Pada jaringan distribusi yang mengalami penurunan profil tegangan, diperlukan pemasangan kapasitor agar tensangannya kembali normal, akan tetapi, jika nilai impedansi induktif dan kapasitif sama, maka yang terjadi adalah meningkatnya resonansi yang mengakibatkan nilai arus pada sistem akan besar sehingga dapat merusak peralatan lainnya.

Dengan begitu, di butuhkan pembatasan nilai resonansi pada sistem untuk mencegah lojakan nilai resonansi dengan menggunakan persamaan seperti berikut :

$$IC_k^h = \frac{V_k^h}{Z_{kk} + jX_k/h} \quad (3.15)$$

$$RICap_k = \frac{IC_k^h}{IC_k} \leq RI = 0,292 \quad (3.16)$$

Keterangan :

$IC_k^h$  = arus kapasitor yang terdistorsi harmonik

$IC_k$  = arus kapasitor fundamental

$V_k^h$  = tegangan harmonisa di bus k

$Z_{kk}$  = impedansi di bus k

$jX_k$  = impedansi kapasitor

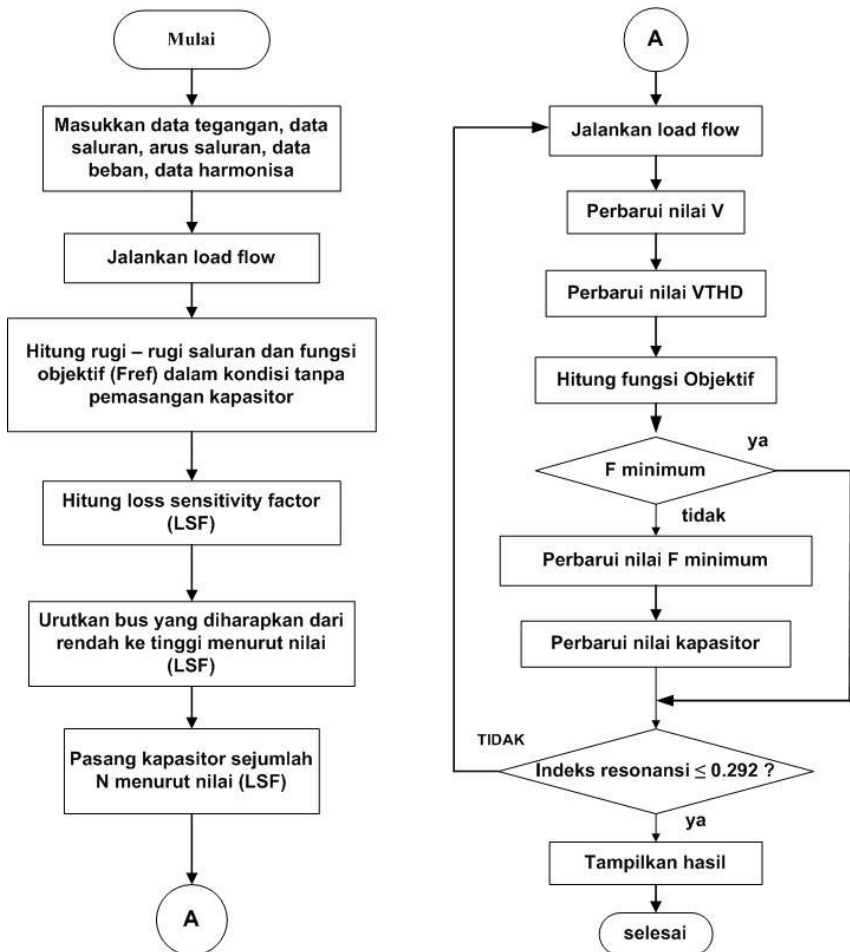
$h$  = orde harmonisa

$RICap_k$  = indeks resonansi kapasitor

$RI$  = resonansi indeks

0,292 = nilai batas resonansi yang di butuhkan untuk orde harmonisa ke 5,7,11,dan 13 yang sudah di tetapkan di standart IEEE

Dari persamaan kapasitor (3.5.1) dan (3.5.2) maka akan menghasilkan nilai resonansi yang sesuai sesuai di bawah batas resonansi sehingga dapat memperpanjang umur dari kapasitor yang telah terpasang pada jaringan distribusi[9].



**Gambar 3.5** Flowchart *Direct Search*, LSF Dan Indeks Resonansi Kapasitor

## BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS

Pada bab ini akan membahas mengenai simulasi dan analisis dengan menggunakan beberapa data bus yang diperoleh dari standart IEEE. Dengan menggunakan sistem data 20 bus, pada simulasi pertama yaitu menghitung tegangan fundamental dan rugi rugi daya pada setiap bus. Kemudian simulasi kedua adalah menghitung tegangan sistem dan dapat di lihat nilai THD pada setiap bus pada sistem. Simulasi ketiga adalah hasil penentuan lokasi dan nilai kapasitor menggunakan *Direct Search*. Simulasi ke empat adalah menggunakan *Loss Sensitivitas Factor* untuk penempatan kapasitor yang optimal. Simulasi kelima adalah simulasi resonansi kapasitor dengan pertimbangan indeks resonansi yang ditetapkan dengan standar IEEE.

### 4.1 Hasil simulasi *Harmonic Load Flow* jaringan distribusi 20 bus 3 fasa seimbang menggunakan Matlab.

Pada subbab 4.1 akan ditampilkan hasil simulasi dengan menggunakan metode *harmonic load flow*.

**Tabel 4.1** Hasil Simulasi *Harmonic Power Flow* Tanpa Penambahan Kapasitor dengan Menggunakan 2 Sumber Harmonisa menggunakan *Software* Matlab 2009a

Bus	Fasa	Tegangan (p.u)	THD (%)	Faktor Daya(%)
1	R	1	0	0,9467
1	S	1	0	0,9467
1	T	1	0	0,9467
2	R	0,9609	3,87615	0,9467
2	S	0,9609	3,87615	0,9467
2	T	0,9609	3,87615	0,9467
3	R	0,9532	4,0128	0,9452
3	S	0,9532	4,0128	0,9452
3	T	0,9532	4,0128	0,9452
4	R	0,9514	4,24502	0,945
4	S	0,9514	4,24502	0,945
4	T	0,9514	4,24502	0,945
5	R	0,9497	4,47882	0,9448



**Tabel 4.1** Hasil Simulasi *Harmonic Power Flow* Tanpa Penambahan Kapasitor dengan Menggunakan 2 Sumber Harmonisa menggunakan *Software* Matlab 2009a (lanjutan),

Bus	Fasa	Tegangan (p.u)	THD (%)	Faktor Daya(%)
5	S	0,9497	4,47882	0,9448
5	T	0,9497	4,47882	0,9448
6	R	0,9483	4,66409	0,9443
6	S	0,9483	4,66409	0,9443
6	T	0,9483	4,66409	0,9443
7	R	0,9423	4,78132	0,9436
7	S	0,9423	4,78132	0,9436
7	T	0,9423	4,78132	0,9436
8	R	0,9381	4,86632	0,9427
8	S	0,9381	4,86632	0,9427
8	T	0,9381	4,86632	0,9427
9	R	0,9339	4,95232	0,9422
9	S	0,9339	4,95232	0,9422
9	T	0,9339	4,95232	0,9422
10	R	0,9309	5,01813	0,9417
10	S	0,9309	5,01813	0,9417
10	T	0,9309	5,01813	0,9417
11	R	0,9572	3,93812	0,9474
11	S	0,9572	3,93812	0,9474
11	T	0,9572	3,93812	0,9474
12	R	0,9558	3,9619	0,9474
12	S	0,9558	3,9619	0,9474
12	T	0,9558	3,9619	0,9474
13	R	0,9536	3,99853	0,9471
13	S	0,9536	3,99853	0,9471
13	T	0,9536	3,99853	0,9471
14	R	0,9537	3,99752	0,9469
14	S	0,9537	3,99752	0,9469
14	T	0,9537	3,99752	0,9469
15	R	0,9516	4,03444	0,9467
15	S	0,9516	4,03444	0,9467
15	T	0,9516	4,03444	0,9467
16	R	0,9524	4,02046	0,9468
16	S	0,9524	4,02046	0,9468
16	T	0,9524	4,02046	0,9468
17	R	0,948	4,51062	0,9457
17	S	0,948	4,51062	0,9457

**Tabel 4.1** Hasil Simulasi *Harmonic Power Flow* Tanpa Penambahan Kapasitor dengan Menggunakan 2 Sumber Harmonisa menggunakan *Software Matlab 2009a* (lanjutan),

Bus	Fasa	Tegangan (p.u)	THD (%)	Faktor Daya(%)
17	T	0,948	4,51062	0,9457
18	R	0,9472	4,52734	0,9455
18	S	0,9472	4,52734	0,9455
18	T	0,9472	4,52734	0,9455
19	R	0,9472	4,52582	0,9456
19	S	0,9472	4,52582	0,9456
19	T	0,9472	4,52582	0,9456
20	R	0,9463	4,54409	0,9454
20	S	0,9463	4,54409	0,9454
20	T	0,9463	4,54409	0,9454

Pada tabel (4.1) dapat di analisis dan di ambil kesimpulan bahwa tegangan sistem mengalami penurunan tegangan sehingga di perlukan kapsitor untuk menaikkan tegangan. Nilai THD (Total Harmonik Distortion) pada sistem cukup besar sehingga bisa membahayakan sistem. Akan tetapi nilai dari THD tersebut masih kurang dari sama dengan 5% yaitu batas yang ditentukan menurut standar IEEE. Nilai Cosphi (faktor daya pada sistem masih kurang optimal yaitu mempunyai rata – rata 0,94 %. Dengan nilai faktor daya pada tabel (4.1) maka diperlukan kapasitor untuk menambah nilai dari faktor daya.

#### 4.1.1 Hasil Simulasi Rugi Daya Sebelum Pemasangan Kapasitor

Dari simulasi Harmonic load flow tersebut didapatkan rugi rugi yang cukup besar. Rugi daya dapat di minimalkan dengan menggunakan kapasitor.

**Tabel 4.2** Hasil Simulasi Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi

	rugi daya sebelum pemasangan
nilai rata - rata	138,6976 kW

## 4.2 Penurunan Level Beban Terhadap THD Pada Jaringan Distribusi

Pada subbab ini akan ditampilkan hasil simulasi penurunan level beban sebagai penurun nilai THD pada sistem.

**Tabel 4.3** Hasil Simulasi Nilai THD Terhadap Level Beban 100%

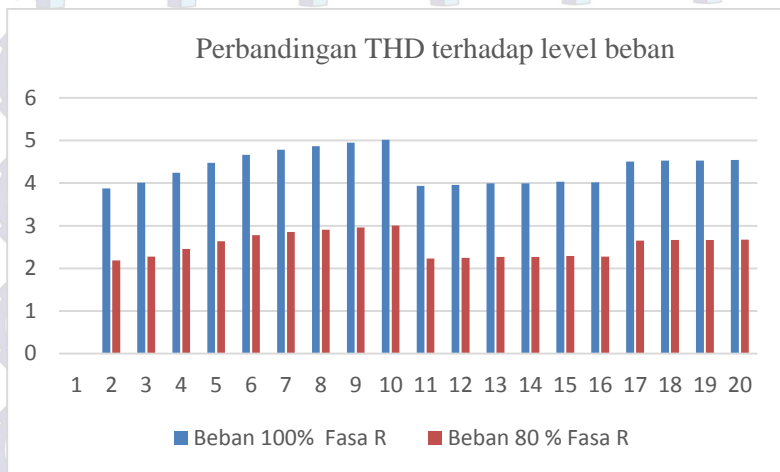
Nilai THD Pada Level Beban 100%			
Bus	Fasa R (%)	Fasa S (%)	Fasa T (%)
1	0	0	0
2	3,87615	3,87615	3,87615
3	4,01280	4,01280	4,01280
4	4,24502	4,24502	4,24502
5	4,47882	4,47882	4,47882
6	4,66409	4,66409	4,66409
7	4,78132	4,78132	4,78132
8	4,86632	4,86632	4,86632
9	4,95232	4,95232	4,95232
10	5,01813	5,01813	5,01813
11	3,93812	3,93812	3,93812
12	3,96190	3,96190	3,96190
13	3,99853	3,99853	3,99853
14	3,99752	3,99752	3,99752
15	4,03444	4,03444	4,03444
16	4,02046	4,02046	4,02046
17	4,51062	4,51062	4,51062
18	4,52734	4,52734	4,52734
19	4,52582	4,52582	4,52582
20	4,54409	4,54409	4,54409

**Tabel 4.4** Hasil Simulasi Nilai THD Terhadap Level Beban 80%

Nilai THD Pada Level Beban 80%			
Bus	Fasa R (%)	Fasa S (%)	Fasa T (%)
1	0	0	0
2	2,18698	2,18698	2,18698
3	2,27457	2,27457	2,27457
4	2,45373	2,45373	2,45373
5	2,63387	2,63387	2,63387
6	2,77639	2,77639	2,77639
7	2,85094	2,85094	2,85094
8	2,90508	2,90508	2,90508
9	2,95971	2,95971	2,95971
10	3,00168	3,00168	3,00168
11	2,22633	2,22633	2,22633

**Tabel 4.4** Hasil Simulasi Nilai THD Terhadap Level Beban 80%  
(lanjutan)

Nilai THD Pada Level Beban 80%			
Bus	Bus	Bus	Bus
12	2,24141	2,24141	2,24141
13	2,26461	2,26461	2,26461
14	2,26396	2,26396	2,26396
15	2,28731	2,28731	2,28731
16	2,27847	2,27847	2,27847
17	2,65418	2,65418	2,65418
18	2,66497	2,66497	2,66497
19	2,66376	2,66376	2,66376
20	2,67577	2,67577	2,67577



**Gambar 4.1** Perbandingan THD terhadap Level Beban

Dari tabel (4.3) dan (4.4) dapat di analisis bahwa untuk menurunkan nilai THD pada sistem cara yang tepat dilakukan adalah dengan menurunka level beban pada sistem. Didapat hasil nilai THD Pada sistem yang menggunakan level beban 100%, nilai THD pada bus 10



sebesar 5,01813%. Kemudian pada level beban 80% nilai THD pada bus 10 sebesar 3,00168%. THD mengalami penurunan dikarenakan perubahan level tegangan pada sistem distribusi.

#### 4.3 Simulasi Dan Analisis Penentuan Lokasi Dan Nilai Kapasitor Pada Jaringan Distribusi 20 Bus Menggunakan Metode *Direct Search* pada level beban 100%

Pada subbab 4.3 akan di tampilkan hasil simulasi dan analisis untuk menentukan lokasi dan nilai dari kapasitor sebagai kompensasi daya reaktif untuk memperbaiki sistem distribusi. Nilai kapasitor yang terlihat pada tabel 4.5 memiliki nilai yang diasumsikan sebesar \$ 3 berdasarkan pada acuan paper.

**Tabel 4.5** Nilai Kapasitor

Nilai Kapasitor (kVAR)	Nilai Kapasitor (kVAR)	Nilai Kapasitor (kVAR)	Nilai Kapasitor (kVAR)
150	450	750	1050
200	500	800	1100
250	550	850	1150
300	600	900	1200
350	650	950	
400	700	1000	

Dari data tabel 4.5 dapat di analisis bahwa nilai kapasitor tersebut akan dipasang pada bus sistem. Dari nilai – nilai tersebut akan dipilih nilai manakah yang dapat menurunkan rugi rugi daya, memperbaiki faktor daya, dan meningkatkan profil tegangan.

##### 4.3.1 Penentuan Lokasi Kapasitor Berdasarkan *Loss Sensitivity Factor* pada level beban 100%

Pada subbab 4.2.1 akan di tampilkan hasil simulasi *Loss Sensitivity Factor* sebagai penentuan lokasi yang optimal untuk kompensasi daya reaktif. *Loss Sensitivity Factor* untuk meminimalkan ruang pencarian lokasi kapasitor dengan mempertimbangkan kerugian daya pada sistem. Sehingga penempatannya menjadi optimal.

**Tabel 4.6** Hasil Simulasi Dengan Menggunakan *Loss Sensitivity Factor* Pada Level Beban 100%

Bus	<i>Loss Sensitivity Factor</i>
1	0
2	0,1245
3	0,0058
4	0,2832
5	0,2853
6	0,1768
7	0,0038
8	0,0019
9	0,0019
10	0,0011
11	0,0015
12	0,0002
13	0,0301
14	0,0805
15	0,0306
16	0,0119
17	0,0003
18	0,0001
19	0,0001
20	0,0001

Pada tabel 4.6 dapat di analisis bahwa nilai kerugian daya pada sistem mempunyai nilai maksimu dan minimum. Penggunaan Metode *Direct Search* untuk penempatan kapasitor memiliki masalah yang tertumpu pada parameter mana yang digunakan sebagai acuan dalam penempatan kapasitor. Maka dari itu digunakan loss sensitivity factor untuk memperkecil ruang pencarian berdasarkan kerugian daya sistem. Dari data tersebut di pilih bus 4, 5 dan 6 sebagai kandidat penempatan kapasitor.

#### **4.3.2 Hasil Simulasi Dan Analisis Menentukan Nilai Dan Biaya Kapasitor Menggunakan Metode *Direct Search***

Pada subbab 4.3.2 menampilkan hasil untuk penentuan nilai dan biaya kapasitor.

**Tabel 4.7** Hasil Simulasi *Direct Search* Menggunakan Level Beban 100%.

Metode <i>Direct Search</i>				
No. Cap	Nilai kapasitor (kVAR )	Rugi daya (MW)	Keuntungan (\$)	Nilai optimal (\$)
1	150	106,37060	62546,29910	19152,69911
2	200	105,32138	63542,96412	19426,85333
3	250	104,36553	64468,38408	19716,68910
4	300	103,50246	65318,65808	20022,10882
5	350	102,73161	66090,16874	20343,01586
6	400	102,05239	66779,62237	20679,31449
7	450	101,46424	67384,08655	21030,90993
8	500	100,96661	67901,02398	21397,70828
9	550	100,55894	68328,32205	21779,61657
10	600	100,24069	68664,31748	22176,54271
11	650	100,01130	68907,81538	22588,39548
12	700	99,87025	69058,10237	23015,08455
13	750	99,97178	69114,95343	23456,52043
14	800	99,85101	69078,63243	23912,61450
15	850	99,97178	68949,88621	24383,27898
16	900	100,17877	68729,93254	24868,42691
17	950	100,47149	68420,44216	25367,97216
18	1000	100,84941	68023,51545	25881,82944
19	1050	101,31204	67541,65413	26409,91422
20	1100	101,85888	66977,72895	26952,14279
21	1150	101,85888	66977,72895	26952,14279
22	1200	101,85888	66977,72895	26952,14279

Dari table 4.7 dapat di analisis dan di ambil kesimpulan bahwa dengan menggunakan metode ini, rugi rugi daya, nilai dan biaya kapasitor dapat di optimalkan dengan mempertimbangkan beberapa macam nilai kapasitor. Data di atas merupakan hasil running program *Direct Search* dengan level beban 100%. Setelah proses eksekusi program, didapatkan bahwa nilai kapasitor yang cocok untuk sistem adalah 150 kVAR, rugi rugi daya setelah pemasangan kapasitor adalah 106,37060 kW. Nilai optimal dari sistem adalah \$19152,69911. Biaya awal untuk kompensasi penuh pada setiap bus pada sistem sebesar \$ 23301,2027. Dengan hasil tersebut maka terjadi penurunan biaya sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor sebesar \$ 4148,5036. hasil tersebut

menunjukkan metode *Direct Search* sangat cocok untuk penentuan nilai dan biaya kapasitor serta memberikan keuntungan dalam investasi kapasitor.

**Tabel 4.8** Perbandingan Rugi Daya Pada Sistem Sebelum Dan Setelah Pemasangan Kapasitor 150 kVAR Pada level beban 100%.

	Rugi daya sebelum pemasangan kapasitor	rugi daya sesudah kapasitor dipasang
Nilai rata - rata	138,6976 kW	106,371 kW

Pada tabel 4.8 dapat di analisis bahwa sesudah pemasangan kapasitor dengan nilai 150 kVAR, terjadi penurunan rugi daya sebesar 32,3270 kW. Dengan hasil ini, maka penyaluran daya dari bus ke bus lain menjadi lebih baik.

#### 4.3.3 Pengaruh Kapasitor Pada Perubahan Tegangan

Pada subbab 4.3.3 ini ditampilkan hasil simulasi perubahan tegangan sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor 150 kVAR. Perubahan terjadi karena terjadi kompensasi daya reaktif akibat pemasangan kapasitor pada bus sistem.

**Tabel 4.9** Perbandingan Tegangan Sebelum Dan Sesudah Pemasangan Kapasitor 150 kVAR Pada level beban 100%.

Bus ke-	Sebelum Dipasang Kapasitor (p.u)	Setelah Dipasang Kapasitor(p.u)
1	1	1
2	0,9609	0,99
3	0,9532	0,9821
4	0,9514	0,9803
5	0,9497	0,9784
6	0,9483	0,977
7	0,9423	0,9708
8	0,9381	0,9664



**Tabel 4.9** Perbandingan Tegangan sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor 150 kVAR Pada level beban 100% (lanjutan).

Bus ke-	Sebelum Dipasang Kapasitor (p.u)	Setelah Dipasang Kapasitor(p.u)
9	0,9339	0,962
10	0,9309	0,9588
11	0,9572	0,9862
12	0,9558	0,9847
13	0,9536	0,9825
14	0,9537	0,9825
15	0,9516	0,9803
16	0,9524	0,9811
17	0,948	0,9767
18	0,9472	0,9758
19	0,9472	0,9758
20	0,9463	0,975
Rata rata	0,9511	0,9783

Pada tabel 4.9 dapat dianalisis bahwa kapasitor sebagai kompensator daya reaktif mampu menaikkan profil tegangan dengan rata – rata nilai tegangan sebelum terpasang kapasitor sebesar 0,9511 p.u. Setelah terpasang kapasitor, tegangan naik menjadi 0,9783 p.u. dengan naiknya profil tegangan maka tegangan sistem menjadi baik. Dan pada tegangan sistem akan memberikan efek pada peralatan tenaga listrik menjadi lebih baik dari tegangan semula.

#### 4.3.4 Pengaruh Kapasitor Pada Perubahan Faktor Daya

**Tabel 4.10** Perbandingan PF Sebelum Pemasangan Kapasitor dan Setelah Pemasangan Kapasitor 150 kVAR Pada level beban 100%.

Bus ke-	PF Sebelum Pemasangan (%)	PF Setelah Pemasangan (%)
1	0,9467	0,9754
2	0,9467	0,9852
3	0,9452	0,9899
4	0,945	0,9899

**Tabel 4.10** Perbandingan PF Sebelum Pemasangan Kapasitor dan Setelah Pemasangan Kapasitor 150 kVAR Pada level beban 100% (lanjutan).

Bus ke-	PF Sebelum Pemasangan (%)	PF Setelah Pemasangan (%)
5	0,9448	0,9853
6	0,9443	0,9813
7	0,9436	0,9733
9	0,9422	0,9727
10	0,9417	0,9724
11	0,9474	0,9747
12	0,9474	0,9747
13	0,9471	0,9746
14	0,9469	0,9745
15	0,9467	0,9744
16	0,9468	0,9745
17	0,9457	0,9744
18	0,9455	0,9743
19	0,9456	0,9743
20	0,9454	0,9742

Dari hasil simulasi yang di tunjukkan pada table (4.10), dapat di analisis dan di ambil kesimpulan bahwa adanya perbedaan nilai faktor daya sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor missal pada bus 5. Sebelum pemasangan kapasitor, nilai faktor daya di bus 5 sebesar 0,9448, sedangkan setelah di pasang kapasitor meningkat menjadi 0,9963. naiknya nilai faktor daya menyebabkan sistem semakin membaik dan peralatan dapat beroperasi maksimal.

#### **4.3.5 Pengaruh kapasitor pada perubahan THD (*Total Harmonic Distortion*)**

Pada subbab ini akan di tampilkan hasil simulasi perubahan THD (*Total Harmonic Distortion*) pada saat di pasang 3 kapasitor. Nilai THD tersebut mengambil 1 fasa dari jaringan 3 fasa. Simulasi ini menunjukkan bahwa terdapat perubahan nilai THD sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor pada sistem.

**Tabel 4.11** Perbandingan THD Sebelum dan Setelah Pemasangan Kapasitor 150 kVAR Pada level beban 100%.

Bus ke-	THD Sebelum Kapasitor (%)	THD Setelah pasang Kapasitor (%)
1	0	0
2	3,87615	4,01866
3	4,01280	4,01866
4	4,24502	4,40931
5	4,47882	4,65390
6	4,66409	4,84797
7	4,78132	4,97764
8	4,86632	5,07253
9	4,95232	5,16869
10	5,01813	5,24299
11	3,93812	4,08545
12	3,96190	4,11109
13	3,99853	4,15061
14	3,99752	4,14953
15	4,03444	4,18939
16	4,02046	4,17429
17	4,51062	4,68896
18	4,52734	4,70769
19	4,52582	4,70544
20	4,54409	4,72646

Dari data table 4.11 dapat di analisis dan di ambil kesimpulan bahwa sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor nilai THD berubah. Nilai tersebut berubah karena di pengaruhi oleh beban yang di suplai dan sumber harmonisa yang di injeksikan ke sistem. Diambil satu contoh dari bus 10, sebelum pemasangan kapasitor, THD bernilai 5,01813%. setelah pemasangan kapasitor nilai THD menjadi 5,24299%. penambahan kapasitor dapat mengurangi ataupun menambah nilai dari THD pada sistem. Nilai THD yang bertambah ini dikarenakan dikarenakan tegangan bertambah akibat terjadi resonansi paralel sistem, sehingga impedansi kapasitor menjadi besar, arus harmonisa akan melewati kapasitor dan menuju *ground*. Adanya arus yang besar melewati kapasitor, akan membuat kapasitor terlalu panas dan mudah untuk mengalami kerusakan. Masalah ini yang mengakibatkan kapasitor cepat rusak dan penggantian

kapasitor akan sering dilakukan sehingga biaya investasi untuk pengadaan kapasitor bertambah.

**Tabel 4.12** Lokasi Pemasangan Kapasitor Pada Level Beban 100%

Bus Yang Di Pasang Kapasitor	Nilai Kapasitor
bus 4	150 kVAR
bus 5	150 kVAR
bus 6	150 kVAR

Pada tabel (4.12) merupakan kadidat dari pemasangan kapasitor yang diletakkan pada bus 4, 5, dan 6. Setiap kapasitor mempunyai nilai 150 kVAR.

#### 4.4 Simulasi Dan Analisis Penentuan Lokasi Dan Nilai Kapasitor Pada Jaringan Distribusi 20 Bus Menggunakan Metode *Direct Search* pada level beban 80%

Pada subbab 4.4 akan di tampilkan hasil simulasi dan analisis untuk menentukan lokasi dan nilai dari kapasitor sebagai kompensasi daya reaktif untuk memperbaiki sistem distribusi.

##### 4.4.1 Penentuan Lokasi Kapasitor Berdasarkan *Loss Sensitivity Factor* pada level beban 80%

Pada subbab 4.4.1 akan di tampilkan hasil simulasi *Loss Sensitivity Factor* sebagai penentuan lokasi yang optimal untuk kompensasi daya reaktif. *Loss Sensitivity Factor* untuk meminimalkan ruang pencarian lokasi kapasitor dengan mempertimbangkan kerugian daya pada sistem. Sehingga penempatannya menjadi optimal.

**Tabel 4.13** Hasil Simulasi Dengan Menggunakan *Loss Sensitivity Factor* Pada Level Beban 80%

Bus	<i>Loss Sensitivity Factor</i>
1	0
2	0,0784
3	0,0043
4	0,2071



**Tabel 4.13** Hasil Simulasi Dengan Menggunakan *Loss Sensitivity Factor* (lanjutan)

Bus	<i>Loss Sensitivity Factor</i>
5	<b>0,2084</b>
6	<b>0,1286</b>
7	0,0027
8	0,0014
9	0,0014
10	0,0008
11	0,0011
12	0,0001
13	0,0224
14	0,0597
15	0,0227
16	0,0088
17	0,0002
18	0,0001
19	0,0001
20	0,0001

Pada tabel 4.13 dapat di analisis bahwa nilai kerugian daya pada sistem mempunyai nilai maksimu dan minimum. Penggunaan Metode *Direct Search* untuk penempatan kapasitor memiliki masalah yang tertumpu pada parameter mana yang digunakan sebagai acuan dalam penempatan kapasitor. Maka dari itu digunakan loss sensitivity factor untuk memperkecil ruang pencarian berdasarkan kerugian daya sistem. Dari data tersebut di pilih bus 4, 5 dan 6 sebagai kandidat penempatan kapasitor.

#### 4.4.2 Hasil Simulasi Dan Analisis Menentukan Nilai Dan Biaya Kapasitor Menggunakan Metode *Direct Search*

Pada subbab 4.4.2 menampilkan hasil untuk penentuan nilai dan biaya kapasitor menggunakan metode *Direct Search*. Metode ini menentukan berapa besar nilai dari kapasitor yang dipasang dan harga pemasangan dari kapasitor. Dari pemasangan kapasitor bisa di identifikasi akan mengalami keuntungan ataupun kerugian biaya.

**Tabel 4.14** Hasil Simulasi *Direct Search* Menggunakan Level Beban 80%.

Metode <i>Direct Search</i>				
No. Cap	Nilai kapasitor (kVAR )	Rugi daya (kW)	Keuntungan (\$)	Nilai optimal (\$)
1	150	66,76100	93674,27365	12524,21051
2	200	66,03525	95115,92865	12852,53875
3	250	65,40054	96402,97411	13196,15884
4	300	64,85630	97526,60443	13554,97775
5	350	64,40200	98479,09944	13928,90330
6	400	64,03709	99253,96464	14317,84422
7	450	63,76103	99846,05110	14721,71007
8	500	63,57329	100251,65091	15140,41127
9	550	63,47334	100468,56466	15573,85908
10	600	63,46066	100496,13868	16021,96561
11	650	63,53473	100335,27072	16484,64377
12	700	63,69503	99988,38408	16961,80730
13	750	63,94105	99459,37109	17453,37074
14	800	64,27230	98753,50855	17959,24943
15	850	64,68827	97877,34796	18479,35950
16	900	65,18847	96838,58490	19013,61786
17	950	65,77240	95645,91193	19561,94218
18	1000	66,43959	94308,85997	20124,25093
19	1050	67,18954	94308,85997	20700,46329
20	1100	68,02180	91242,94238	21290,49922
21	1150	68,93587	89535,84030	21894,27941
22	1200	69,93130	87727,56482	22511,72528

Dari table 4.14 dapat di analisis dan di ambil kesimpulan bahwa dengan menggunakan metode ini, rugi rugi daya, nilai dan biaya kapasitor dapat di optimalkan dengan mempertimbangkan beberapa macam nilai kapasitor. Data di atas merupakan hasil running program *Direct Search* dengan level beban 80%.. Setelah proses eksekusi program, didapatkan bahwa nilai kapasitor yang cocok untuk sistem adalah 150 kVAR, rugi rugi daya setelah pemasangan kapasitor adalah 66,761 kW. Nilai optimal dari sistem adalah \$ 12524,2105. Biaya awal untuk kompensasi penuh pada setiap bus pada sistem sebesar \$ 14784,2159. Dengan hasil tersebut maka terjadi penurunan biaya sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor sebesar \$ 2260,0054. hasil tersebut menunjukkan

metode *Direct Search* sangat cocok untuk penentuan nilai dan biaya kapasitor serta memberikan keuntungan dalam investasi kapasitor.

**Tabel 4.15** Perbandingan Rugi Daya Pada Sistem Sebelum Dan Setelah Pemasangan Kapasitor 150 kVAR. Pada level beban 80%

	Rugi daya sebelum pemasangan kapasitor	rugi daya sesudah kapasitor dipasang
Nilai rata - rata	88,0013 kW	66,761 kW

Pada tabel 4.14 dapat di analisis bahwa sesudah pemasangan kapasitor dengan nilai 150 kVAR, terjadi penurunan rugi daya sebesar 21,2403 kW. Dengan hasil ini, maka penyaluran daya dari bus ke bus lain menjadi lebih baik.

#### 4.4.3 Pengaruh Kapasitor Pada Perubahan Tegangan

Pada subbab 4.4.3 ini ditampilkan hasil simulasi perubahan tegangan sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor 150 kVAR. Perubahan terjadi karena terjadi kompensasi daya reaktif akibat pemasangan kapasitor pada bus sistem.

**Tabel 4.16** Perbandingan Tegangan Sebelum Dan Sesudah Pemasangan Kapasitor 150 kVAR pada level beban 80%.

Bus ke-	Sebelum Dipasang Kapasitor (p.u)	Setelah Dipasang Kapasitor(p.u)
1	1	1
2	0,9609	0,99
3	0,9532	0,9821
4	0,9514	0,9803
5	0,9497	0,9784
6	0,9483	0,977
7	0,9423	0,9708
8	0,9381	0,9664
9	0,9339	0,962
10	0,9309	0,9588

**Tabel 4.16** Perbandingan Tegangan sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor 150 kVAR pada level beban 80% (lanjutan).

Bus ke-	Sebelum Dipasang Kapasitor (p.u)	Setelah Dipasang Kapasitor(p.u)
11	0,9572	0,9862
12	0,9558	0,9847
13	0,9536	0,9825
14	0,9537	0,9825
15	0,9516	0,9803
16	0,9524	0,9811
17	0,948	0,9767
18	0,9472	0,9758
19	0,9472	0,9758
20	0,9463	0,975
Rata rata	0,9535	0,9828

Pada tabel 4.16 dapat dianalisis bahwa kapasitor sebagai kompensator daya reaktif mampu menaikkan profil tegangan dengan rata – rata nilai tegangan sebelum terpasang kapasitor sebesar 0,9535 p.u. Setelah terpasang kapasitor, tegangan naik menjadi 0,9828 p.u. dengan naiknya profil tegangan maka tegangan sistem menjadi baik. Dan pada tegangan sistem akan memberikan efek pada peralatan tenaga listrik menjadi lebih baik dari tegangan semula.

#### 4.4.4 Pengaruh Kapasitor Pada Perubahan Faktor Daya

**Tabel 4.17** Perbandingan PF Sebelum Pemasangan Kapasitor dan Setelah Pemasangan Kapasitor 150 kVAR Pada Level Beban 80%.

Bus ke-	PF Sebelum Pemasangan (%)	PF Setelah Pemasangan (%)
1	0,9472	0,9764
2	0,9472	0,9843
3	0,946	0,9905
4	0,9458	0,9905
5	0,9457	0,9847



**Tabel 4.17** Perbandingan PF Sebelum Pemasangan Kapasitor dan Setelah Pemasangan Kapasitor 150 kVAR Pada Level Beban 80% (lanjutan).

Bus ke-	PF Sebelum Pemasangan (%)	PF Setelah Pemasangan (%)
6	0,9453	0,9796
7	0,9448	0,9691
8	0,944	0,9686
9	0,9436	0,9684
10	0,9433	0,9682
11	0,9477	0,9702
12	0,9476	0,9702
13	0,9474	0,9701
14	0,9473	0,97
15	0,9471	0,9699
16	0,9472	0,97
17	0,9463	0,9699
18	0,9462	0,9699
19	0,9463	0,9699
20	0,9461	0,9698

Dari hasil simulasi yang di tunjukkan pada table (4.16), dapat di analisis dan di ambil kesimpulan bahwa adanya perbedaan nilai faktor daya sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor missal pada bus 5. Sebelum pemasangan kapasitor, nilai faktor daya di bus 5 sebesar 0,9457, sedangkan setelah di pasang kapasitor meningkat menjadi 0,9847. naiknya nilai faktor daya menyebabkan sistem semakin membaik dan peralatan dapat beroperasi maksimal.

#### 4.4.5 Pengaruh kapasitor pada perubahan THD (*Total Harmonic Distortion*)

Pada subbab ini akan di tampilkan hasil simulasi perubahan THD (*Total Harmonic Distortion*) pada saat di pasang 3 kapasitor. Nilai THD tersebut mengambil 1 fasa dari jaringan 3 fasa. Simulasi ini menunjukkan perubahan nilai THD pada saat dipasang kapasitor.

**Tabel 4.18** Perbandingan THD Sebelum dan Setelah Pemasangan Kapasitor 150 kVAR pada level beban 80%.

Bus ke-	THD Sebelum Kapasitor (%)	THD Setelah pasang Kapasitor (%)
1	0	0.00000
2	2,18698	2,28095
3	2,27457	2,37442
4	2,45373	2,55988
5	2,63387	2,74655
6	2,77639	2,89437
7	2,85094	2,97554
8	2,90508	3,03499
9	2,95971	3,09506
10	3,00168	3,14160
11	2,22633	2,32279
12	2,24141	2,33884
13	2,26461	2,36353
14	2,26396	2,36284
15	2,28731	2,38770
16	2,27847	2,37829
17	2,65418	2,76860
18	2,66497	2,78050
19	2,66376	2,77883
20	2,67577	2,79243

Dari data table 4.18 dapat di analisis dan di ambil kesimpulan bahwa sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor nilai THD berubah. Nilai tersebut berubah karena di pengaruhi oleh beban yang di suplai dan sumber harmonisa yang di injeksikan ke sistem. Diambil satu contoh dari bus 10, sebelum pemasangan kapasitor, THD bernilai 3,00168%. setelah pemasangan kapasitor nilai THD menjadi 3,14160%. penambahan kapasitor dapat mengurangi ataupun menambah nilai dari THD pada sistem. Nilai THD yang bertambah ini dikarenakan tegangan bertambah akibat terjadi resonansi paralel sistem, sehingga impedansi kapasitor menjadi besar, arus harmonisa akan melewati kapasitor dan menuju *ground*. Adanya arus yang besar melewati kapasitor, akan membuat kapasitor terlalu panas dan mudah untuk mengalami kerusakan. Masalah ini yang mengakibatkan kapasitor cepat rusak dan penggantian kapasitor

akan sering dilakukan sehingga biaya investasi untuk pengadaan kapasitor bertambah.

**Tabel 4.19** Lokasi Pemasangan Kapasitor

Bus Yang Di Pasang Kapasitor	Nilai Kapasitor
bus 4	150 kVAR
bus 5	150 kVAR
bus 6	150 kVAR

Pada tabel (4,19) merupakan kadidat dari pemasangan kapasitor yang diletakkan pada bus 4, 5, dan 6. Setiap kapasitor mempunyai nilai 150 kVAR.

#### 4.5 Simulasi dan Analisis Resonansi Kapasitor pada level beban 100%

Simulasi ini digunakan untuk mengetahui kapasitor yang terpasang pada sistem terdapat resonansi dapat diminimalkan sehingga kapasitor yang telah terpasang tidak mudah rusak dan dapat bertahan dalam waktu yang cukup lama.

**Tabel 4.20** Nilai Resonansi Kapasitor dan THD pada Level Beban 100%.

bus	Arus Kapasitor					Resonansi Kapasitor
	Harmonik order 5	Harmonik order 7	Harmonik order 11	Harmonik order 13	Dasar	
1	0	0	0	0	0	0
2	0,9246	0,13	0,1207	0,1207	3,739	0,3224
3	1,406	0,1509	0,1356	0,1356	8,844	0,1952
4	1,1783	0,1443	0,1316	0,1316	5,582	0,2664
5	1,1982	0,1467	0,1338	0,1338	5,572	0,2714
6	1,2138	0,1486	0,1356	0,1356	5,564	0,2753
7	1,4828	0,1591	0,143	0,143	8,747	0,2081
8	1,4897	0,1598	0,1437	0,1437	8,710	0,21
9	1,4968	0,1606	0,1444	0,1444	8,67	0,2119
10	1,5022	0,1612	0,1449	0,1449	8,645	0,2134
11	1,4001	0,1502	0,1351	0,1351	8,880	0,1936
12	1,4023	0,1505	0,1353	0,1353	8,867	0,1942
13	0,9235	0,1313	0,1221	0,1221	3,599	0,3356
14	0,9201	0,1308	0,1216	0,1216	3,599	0,3343
15	0,9221	0,1311	0,1219	0,1219	3,591	0,3357
16	0,9266	0,1318	0,1225	0,1225	3,594	0,3371

**Tabel 4.20** Nilai Resonansi Kapasitor dan THD pada Level Beban 100% (lanjutan).

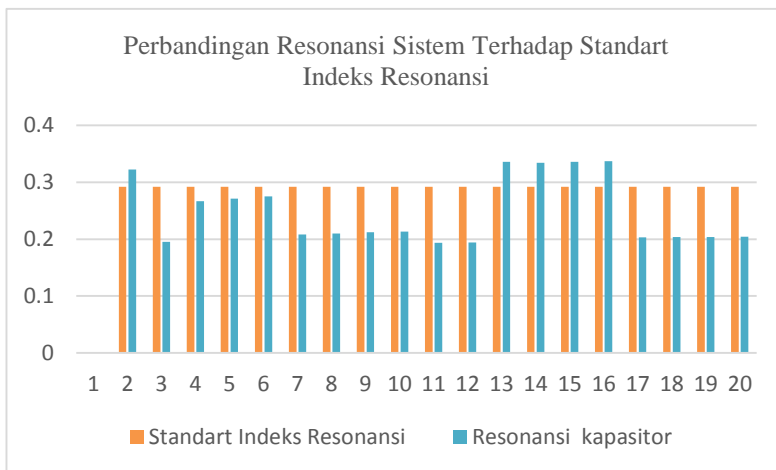
bus	Arus Kapasitor					Resonansi Kapasitor
	Harmonik order 5	Harmonik order 7	Harmonik order 11	Harmonik order 13	Dasar	
17	1,4567	0,1563	0,1405	0,1405	8,798	0,2033
18	1,4581	0,1564	0,1407	0,1407	8,79	0,2037
19	1,458	0,1564	0,1406	0,1406	8,79	0,2036
20	1,4595	0,1566	0,1408	0,1408	8,783	0,204

Dari tabel 4.20 di atas dapat di analisis dan di ambil kesimpulan bahwa untuk mencari resonansi kapasitor pada jaringan distribusi radial 3 fasa yang terdistorsi harmonik, dengan membagi Antara jumlah seluruh periode arus harmonik kapasitor dengan arus fundamental. Dari persamaan tersebut dihasilkan nilai resonansi kapasitor pada masing masing bus di sistem.

**Tabel 4.21** Perbandingan Resonansi Kapasitor dengan Batas Indeks Resonansi yang di Izinkan Pada Level Tegangan 100%.

Bus	Standart Indeks Resonansi	Resonansi kapasitor	Kondisi
1	0	0	baik
2	0,292	0,3224	buruk
3	0,292	0,1952	baik
4	0,292	0,2664	baik
5	0,292	0,2714	baik
6	0,292	0,2753	baik
7	0,292	0,2081	baik
8	0,292	0,21	baik
9	0,292	0,2119	baik
10	0,292	0,2134	baik
11	0,292	0,1936	baik
12	0,292	0,1942	baik
13	0,292	0,3356	buruk
14	0,292	0,3343	buruk
15	0,292	0,3357	buruk
16	0,292	0,3371	buruk
17	0,292	0,2033	baik
18	0,292	0,2037	baik
19	0,292	0,2036	baik
20	0,292	0,204	baik





**Gambar 4.2** Grafik Perbandingan Nilai Resonansi Kapasitor Terhadap Standar yang Di Ijinkan Pada Level Beban 100%.

Dari tabel 4.21 dan gambar 4.2 dapat di analisis dan diambil kesimpulan bahwa terdapat nilai indeks resonansi yang di izinkan menurut standart IEEE pada harmonic orde 5, 7, 11, dan 13 adalah 0,292. Batas tersebut digunakan untuk membandingkan nilai resonansi pada sistem distribusi 20 bus 3 fasa seimbang. Nilai pada tabel 4.15 menunjukkan pada bus 2, 13, 14, 15, dan 16 memiliki nilai resonansi yang melebihi standar yang di izinkan. Maka pada bus tersebut tidak boleh di pasang kapasitor. Jika kapasitor di letakkan pada bus tersebut, kapasitor akan mengakibatkan nilai dari resonansi paralel kapasitor meningkat. Sehingga kapasitor akan cepat panas dan mudah rusak.

#### 4.6 Simulasi dan Analisis Resonansi Kapasitor pada level beban 80%

Simulasi ini digunakan untuk mengetahui kapasitor yang terpasang pada sistem terdapat resonansi dapat diminimalkan sehingga kapasitor yang telah terpasang tidak mudah rusak dan dapat bertahan dalam waktu yang cukup lama. Simulasi ini menggunakan level beban 80% dari beban penuh. Sismulasi ini mmbutuhkan tegangan harmonisa

pada setiap bus, impedansi saluran pada bus sistem, dan impedansi kapasitor yang dipasang pada bus sistem.

**Tabel 4.22** Nilai Resonansi Kapasitor dan THD pada Level Beban 100%.

bus	Arus Kapasitor					Resonansi Kapasitor
	Harmoni k order 5	Harmoni k order 7	Harmonik order 11	Harmonik order 13	Dasar	
1	0	0	0	0	0	0
2	0,6707	0,0863	0,0792	0,0797	3,3983	0,2519
3	0,9315	0,0963	0,0863	0,0863	7,2106	0,1575
4	0,8240	0,0945	0,0855	0,0858	4,8740	0,2104
5	0,8446	0,0968	0,0876	0,0879	4,8668	0,216
6	0,8609	0,0987	0,0893	0,0896	4,861	0,2204
7	1,0038	0,1038	0,0929	0,0930	7,1451	0,1713
8	1,0080	0,1042	0,0933	0,0934	7,1198	0,1726
9	1,0123	0,1046	0,0937	0,0938	7,0946	0,174
10	1,0156	0,1050	0,0940	0,0941	7,0759	0,175
11	0,9277	0,0959	0,0859	0,0860	7,2341	0,1564
12	0,9288	0,0960	0,0860	0,0861	7,2256	0,1567
13	0,6648	0,0863	0,0793	0,0798	3,2829	0,2591
14	0,6648	0,0863	0,0793	0,0798	3,2831	0,2591
15	0,6660	0,0865	0,0794	0,0800	3,2772	0,26
16	0,6655	0,0864	0,0794	0,0799	3,2794	0,2596
17	0,9807	0,1014	0,0908	0,0909	7,1793	0,1666
18	0,9816	0,1015	0,0909	0,0909	7,1743	0,1668
19	0,9814	0,1014	0,0909	0,0909	7,1743	0,1668
20	0,9825	0,1016	0,0910	0,0910	7,1693	0,1671

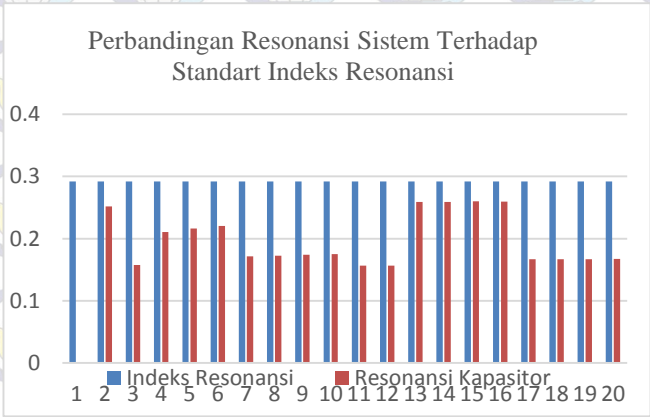
Dari tabel 4.22 di atas dapat di analisis dan di ambil kesimpulan bahwa untuk mencari resonansi kapasitor pada jaringan distribusi radial 3 fasa yang terdistorsi harmonik, dengan membagi Antara jumlah seluruh arus harmonik kapasitor dengan arus fundamental kapasitor. Dari persamaan tersebut dihasilkan nilai resonansi kapasitor pada masing masing bus di sistem.

**Tabel 4.23** Perbandingan Resonansi Kapasitor dengan Batas Indeks Resonansi yang di Izinkan Pada Level Tegangan 80%.

Bus	Standart Indeks Resonansi	Resonansi kapasitor	Kondisi
1	0	0	baik

**Tabel 4.23** Perbandingan Resonansi Kapasitor dengan Batas Indeks Resonansi yang di Izinkan (lanjutan).

Bus	Standart Indeks Resonansi	Resonansi kapasitor	Kondisi
2	0,292	0,2519	Baik
3	0,292	0,1575	Baik
4	0,292	0,2104	Baik
5	0,292	0,216	Baik
6	0,292	0,2204	Baik
7	0,292	0,1713	Baik
8	0,292	0,1726	Baik
9	0,292	0,174	Baik
10	0,292	0,175	Baik
11	0,292	0,1564	Baik
12	0,292	0,1567	Baik
13	0,292	0,2591	Baik
14	0,292	0,2591	Baik
15	0,292	0,26	Baik
16	0,292	0,2596	Baik
17	0,292	0,1666	Baik
18	0,292	0,1668	Baik
19	0,292	0,1668	Baik
20	0,292	0,1671	Baik



**Gambar 4.3** Grafik Perbandingan Nilai Resonansi Kapasitor Terhadap Standar yang Di Ijinkan Pada Level Beban 80%..

Dari tabel 4.23 dan gambar 4.3 dapat di analisis dan diambil kesimpulan bahwa tidak terdapat nilai resonansi kapasitor yang melebihi nilai indeks resonansi yaitu 0,292. Hal ini berarti kapasitor bisa diletakkan pada semua bus.

#### 4.7 Perbandingan Resonansi Terhadap Nilai Kapasitor

Pada subbab ini akan ditampilkan hasil simulasi perbandingan nilai resonansi terhadap nilai kapsitor. Nilai tersebut adalah nilai resonansi kapasitor apabila nilai kapasitor tersebut dipasang bergantian pada sistem distribusi. Pada tabel 4.23 ini di hasilkan nilai resonansi pada setiap bus sistem dan dibandingkan dengan indeks resonansi yang di ijinan.

**Tabel 4.24** Hasil Resonansi Terhadap Nilai Kapasitor.

Bus	Indeks Resonansi	Resonansi Kapasitor Dengan Level Beban 100%					
		Nilai Kapasitor (kVAR)					
		150	200	250	300	350	400
1	0,292	0	0	0	0	0	0
2	0,292	0,322	0,356	0,388	0,415	0,438	0,458
3	0,292	0,195	0,217	0,233	0,247	0,261	0,274
4	0,292	0,266	0,297	0,324	0,347	0,368	0,387
5	0,292	0,271	0,306	0,333	0,357	0,378	0,397
6	0,292	0,275	0,312	0,339	0,364	0,386	0,406
7	0,292	0,208	0,237	0,254	0,270	0,285	0,299
8	0,292	0,2	0,239	0,257	0,273	0,288	0,302
9	0,292	0,211	0,242	0,259	0,276	0,290	0,305
10	0,292	0,213	0,243	0,261	0,278	0,293	0,307
11	0,292	0,193	0,215	0,231	0,245	0,259	0,271
12	0,292	0,194	0,216	0,231	0,246	0,259	0,272
13	0,292	0,335	0,368	0,400	0,428	0,451	0,472
14	0,292	0,334	0,368	0,400	0,427	0,451	0,472
15	0,292	0,335	0,369	0,402	0,429	0,453	0,474
16	0,292	0,337	0,369	0,401	0,429	0,452	0,473
17	0,292	0,203	0,23	0,247	0,262	0,277	0,290
18	0,292	0,203	0,230	0,247	0,263	0,277	0,291
19	0,292	0,203	0,230	0,247	0,263	0,278	0,291
20	0,292	0,204	0,231	0,248	0,263	0,278	0,291



Pada tabel 4.24 dapat di analisis bahwa pada level beban penuh ( level beban 100%), terdapat nilai resonansi kapasitor pada bus sistem. Hal ini menandakan bahwa dalam pemasangan kapasitor tidak boleh dipasang secara sembarang pada bus sistem. Jika kapsitor tersebut dipasang pada bus yang menyebabkan nilai resonansi kapasitor di atas batas nilai yang di ijinakan maka kapasitor tersebut tidak bisa bertahan lama atau bisa diartikan dapat memperpendek usia kapasitor itu sendiri. Pada tabel 4.24 terdapat nilai nilai resonansi yang terdapat pada bus sistem. Kapasitor diletakkan pada bus yang telah ditentukan dengan metode direct search yaitu terdapat pada bus 4,5, dan 6. Berikut akan dilakukan pemaparan pada setiap nilai kapasitor yang terpasang pada bus sistem.

- Pada nilai kapasitor 150 kVAR, nilai resonansi yang melebihi batas terdapat pada bus 2, 13, 14, 15, dan 16.
- Pada nilai kapasitor 200 kVAR, nilai resonansi yang melebihi indeks resonansi terdapat pada bus 2,4,5,6, 13, 14, 15, dan 16.
- Pada nilai resonansi 250 kVAR, nilai resonansi yang melebihi indeks resonansi terdapat pada bus 2,4,5,6, 13, 14, 15, dan 16.
- Pada nilai resonansi 300 kVAR, nilai resonansi yang melebihi indeks resonansi terdapat pada bus 2,4,5,6, 13, 14, 15, dan 16.
- Pada nilai resonansi 350 kVAR, nilai resonansi yang melebihi indeks resonansi terdapat pada bus 2,4,5,6,10, 13, 14, 15, dan 16.
- Pada nilai resonansi 400 kVAR, nilai resonansi yang melebihi indeks resonansi terdapat pada bus 2,4,5,6,7,8,9,10, 13, 14, 15, dan 16.

Pada level beban 80%, tidak dilakukan simulasi karena pada level beban 80% sudah dilakukan mengambil satu contoh untuk nilai kapasitor yaitu pada nilai kapasitor 150 kVAR dan hasil simulasi tersebut tidak terdapat nilai resonansi kapasitor yang melebihi indeks resonansi atau nilai resonansi kapasitor dibawah nilai 0,292.

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah dilakukan simulasi aliran daya harmonisa dengan menggunakan metode Algoritma *Direct Search* untuk sistem distribusi tiga fasa yang berasal dari data IEEE 20 bus, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada simulasi Harmonic load flow didapatkan hasil nilai THDv yang paling besar sebelum dipasang kapasitor yang terdapat pada bus 10 yaitu 5.01%. sesudah di pasang kapasitor sebesar 5.243%. hasil THDv tersebut melewati batas toleransi dari nilai THDv yang di ijinakan.
2. Nilai THDv yang melebihi batas toleransi 5% akan di lakukan penurunan nilai THDv dengan cara mnurunkan level beban menjadi 80%.
3. Pemasangan kapasitor harus memperhatikan resonansi dari kapasitor tersebut. Apabila resonansi dari kapasitor melebihi batas yang di ijinakan standart IEEE untuk harmonisa orde 5, 7, 11, dan 13 yaitu sebesar 0.292 yang di pasang pada bus sistem, maka akan terjadi resonansi yang mengakibatkan kapasitor menjadi panas. Hal ini akan memicu kerusakan pada kapasitor dan dapat memperpendek umur kapasitor.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan untuk pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Nilai resonansi kapasitor pada tugas akhir ini masih tedapat nilai yang melebihi batas yang di ijinakan,hal ini akan mengurangi peluang kapasitor untuk menentukan lokasi kapasitor pada bus sistem.
2. Karakteristik perubahan nilai THDv yang didapatkan dari tugas akhir ini diharapkan menjadi bahan pertimbangan ketika melakukan proses rekonfigurasi jaringan khususnya pada sistem distribusi yang memiliki sumber-sumber harmonisa pada sistem distribusi tersebut.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arrillaga J, Watson N.R, “Power System Harmonics” John Willey and Sons, Ltd, 2003.
- [2] Jen-Hao Teng, “A Network Topology-Based Three-Phase Load Flow for Distribution Systems”, Proc. Natl. Sci. Coun. ROC(A) Vol.24, No. 4, 2000.
- [3] Jen-Hao Teng, and Chuo-Yean Chang, “Backward/Forward Sweep Based Harmonic Analysis Method for Distribution System”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.22, No. 3, 2007.
- [4] Pujiantara, Margo. Materi Kuliah DSKI – Harmonisa dan Efeknya
- [5] Nokian Capacitor. Power Factor Correction.
- [6] Prasetyadi, Willy. “Evaluasi Harmonisa dan Perencanaan Filter Pasif pada Sisi Tegangan 20kV Akibat Penambahan Beban pada Sistem Kelistrikan Pabrik Semen Tuban” Teknik Elektro-ITS, 2012.
- [7] Ashari, Mochamad. Materi Kuliah Power Electronics.
- [8] C. S. Cheng and D. Shirmohammadi, “A three-phase power flow method for real-time distribution system analysis,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 10, no. 2, pp. 671-679, May. 1995.
- [9] S. Segura, L.C.P. da Silva, R. Romero, D. Salles. *Strategic Capacitor Placement In Distribution Sitems By Minimisation Of Harmonics Amplification Because Of Resonance*. IEEE Journal, 2011.
- [10] Fitriana Suhartati, Dimas Fajar U.P., Ontoseno P., Adi Suprajitno.”Capacitor Placement And Sizing Using Simplified Direct Search Algorithm”. Journal of clean technologies,vol.2, no.4, October 2014.
- [11] Wildan Faisal Harharah, Made Ari Nrnartha, Supriyatna,”Penempatan Kapasitor Dan Optimasi Kapasitasnya Menggunakan *Artificial Bee Colony* Pada Saluran Distribusi Primer”, Dielektrika ISSN, 2014.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

Data saluran jaringan distribusi 20 bus

Bus		Impedansi					
		Fasa R		Fasa S		Fasa T	
Dari	Ke	R	X	R	X	R	X
1	2	0,0323	1,0997	0,0323	1,0997	0,0323	1,0997
2	3	0,2788	0,0148	0,2788	0,0148	0,2788	0,0148
3	4	0,4438	0,4391	0,4438	0,4391	0,4438	0,4391
4	5	0,4438	0,4391	0,4438	0,4391	0,4438	0,4391
5	6	0,4438	0,4391	0,4438	0,4391	0,4438	0,4391
6	7	0,2788	0,0148	0,2788	0,0148	0,2788	0,0148
7	8	0,2788	0,0148	0,2788	0,0148	0,2788	0,0148
8	9	0,2788	0,0148	0,2788	0,0148	0,2788	0,0148
9	10	0,2788	0,0148	0,2788	0,0148	0,2788	0,0148
2	11	0,2788	0,0148	0,2788	0,0148	0,2788	0,0148
11	12	0,2788	0,0148	0,2788	0,0148	0,2788	0,0148
12	13	0,8639	0,7512	0,8639	0,7512	0,8639	0,7512
11	14	0,8639	0,7512	0,8639	0,7512	0,8639	0,7512
14	15	0,8639	0,7512	0,8639	0,7512	0,8639	0,7512
14	16	0,8639	0,7512	0,8639	0,7512	0,8639	0,7512
5	17	0,2788	0,0148	0,2788	0,0148	0,2788	0,0148
17	18	0,2788	0,0148	0,2788	0,0148	0,2788	0,0148
18	19	0,2788	0,0148	0,2788	0,0148	0,2788	0,0148
18	20	0,2788	0,0148	0,2788	0,0148	0,2788	0,0148

Data Beban

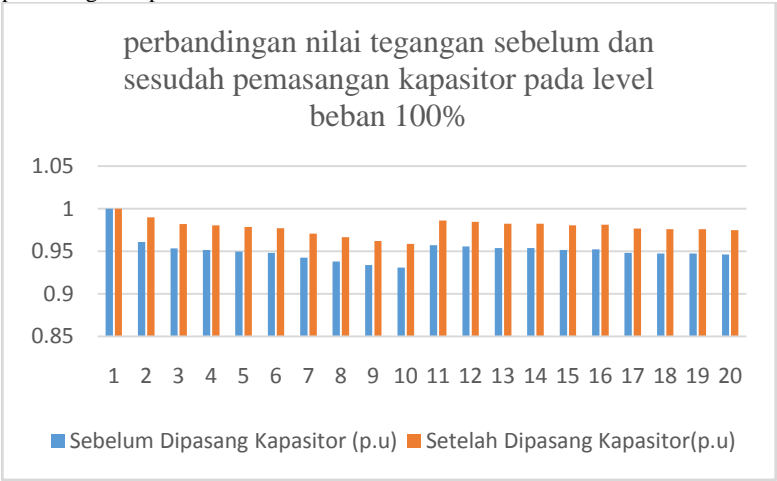
BUS ke-	Beban fasa R		Beban fasa S		Beban fasa T	
	P	Q	P	Q	P	Q
2	0,522	0,174	0,522	0,174	0,522	0,174
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	1,116	0,372	1,116	0,372	1,116	0,372
8	0	0	0	0	0	0
9	0,672	0,224	0,672	0,224	0,672	0,224
10	1,917	0,639	1,917	0,639	1,917	0,639
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0,882	0,294	0,55	0,55	0,55	0,55
14	0	0	0	0	0	0
15	0,882	0,294	0,882	0,294	0,882	0,294
16	0,549	0,183	0,549	0,183	0,549	0,183
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0,522	0,174	0,522	0,174	0,522	0,174
20	0,522	0,174	0,522	0,174	0,522	0,174

Data harmonisa

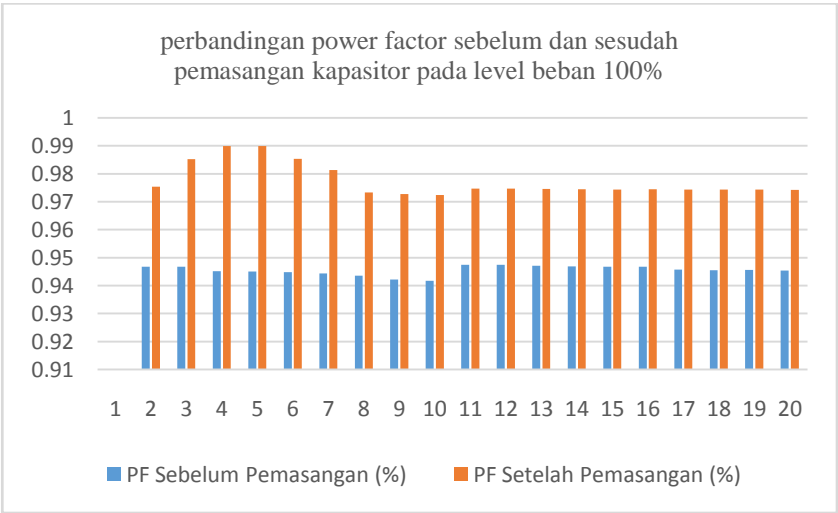
Bus	Orde harmonisa 5		Orde harmonisa 7		Orde harmonisa 11		Orde harmonisa 13	
	Mag,	Sudut	Mag,	Sudut	Mag	sudut	Mag	sudut
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	23,53	111	6,08	109	4,57	-158	4,2	-178
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	23,52	111	6,08	109	4,57	-158	4,2	-178



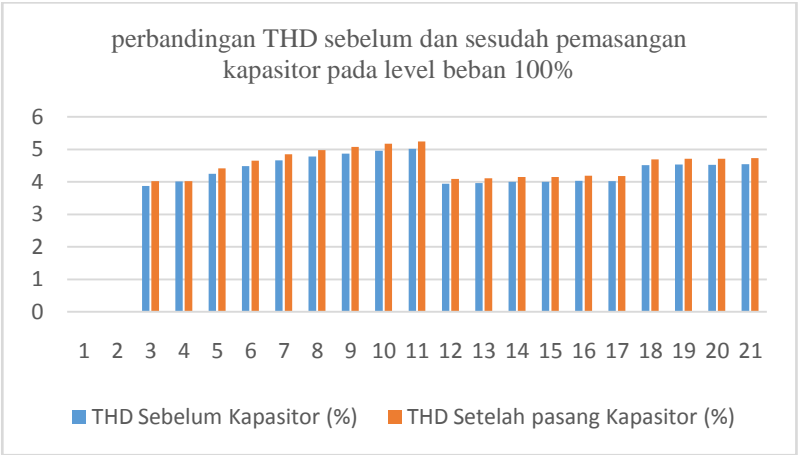
Grafik perbandingan tegangan pada level beban 100% sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor



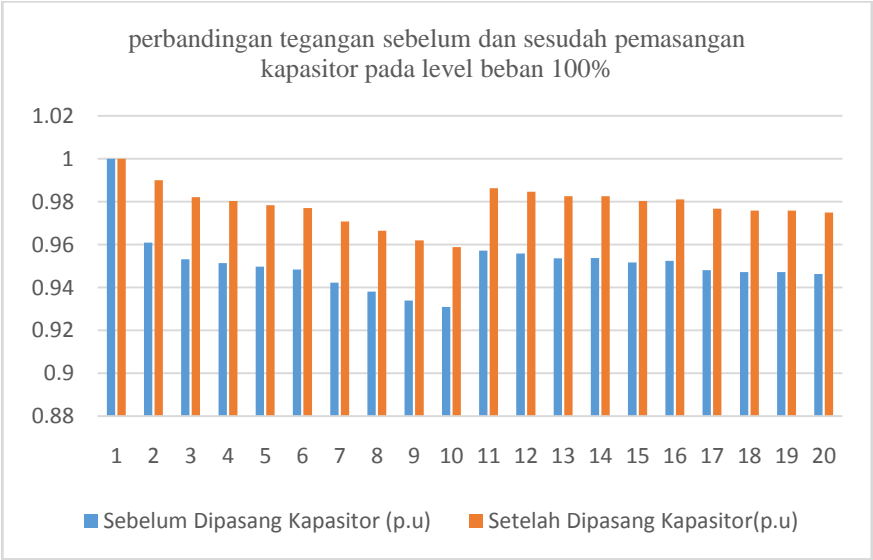
Perbandingan power factor sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor pada level beban 100%



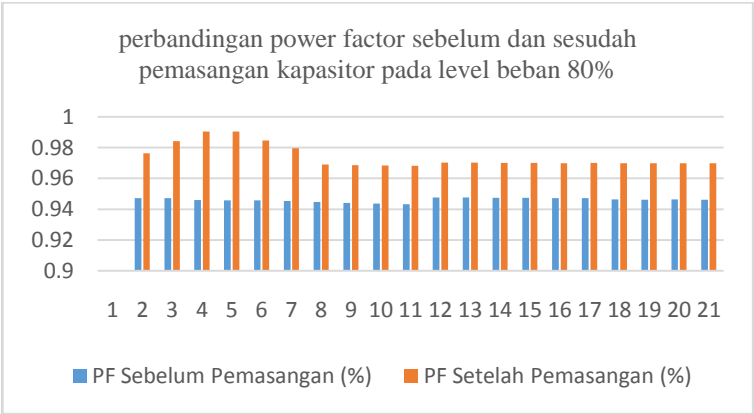
Perbandingan THD sebelum dan setelah pemasangan kapasitor pada level beban 100%



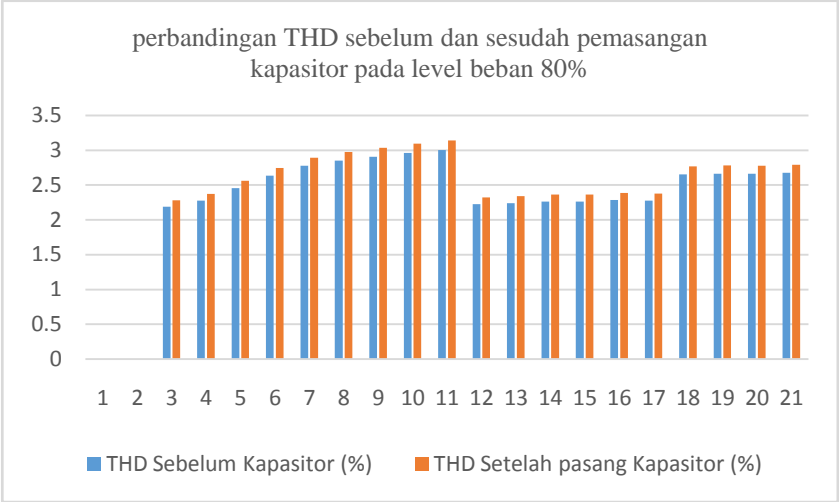
Perbandingan tegangan sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor pada level beban 80%



Perbandingan power factor sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor pada level beban 80%



Perbandingan THD sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor pada level beban 80%



## Hasil simulasi load flow harmonic sebelum pemasangan kapasitor

No.	Voltage		Current	Power Flow		Losses		Drop Tegangan	
Bus	(kV)	(degree)	(Ampere)	(kW)	(kVar)	(kW)	(kVar)	(kV)	
1	23.00000	0.0000	204.2006	7701.5867	2619.1864	0.0000	0.0000	0.0000	8134.7757
1	23.00000	-120.0000	204.2006	7701.5867	2619.1864	0.0000	0.0000	0.0000	8134.7757
1	23.00000	120.0000	204.2006	7701.5867	2619.1864	0.0000	0.0000	0.0000	8134.7757
2	22.10000	0.0000	204.2006	7701.5867	2619.1864	4.0405	137.5656	0.9000	8134.7757
2	22.10000	-120.0000	204.2006	7701.5867	2619.1864	4.0405	137.5656	0.9000	8134.7757
2	22.10000	120.0000	204.2006	7701.5867	2619.1864	4.0405	137.5656	0.9000	8134.7757
3	21.92398	0.1514	128.6735	4807.8870	1661.1205	13.8482	0.7351	1.0760	5086.7572
3	21.92398	-119.8486	128.6735	4807.8870	1661.1205	13.8482	0.7351	1.0760	5086.7572
3	21.92398	120.1514	128.6735	4807.8870	1661.1205	13.8482	0.7351	1.0760	5086.7572
4	21.88328	0.1868	128.6735	4798.2881	1661.1203	22.0438	21.8104	1.1167	5077.6855
4	21.88328	-119.8132	128.6735	4798.2881	1661.1203	22.0438	21.8104	1.1167	5077.6855
4	21.88328	120.1868	128.6735	4798.2881	1661.1203	22.0438	21.8104	1.1167	5077.6855
5	21.84258	0.2223	128.6735	4788.6892	1661.1202	22.0438	21.8104	1.1574	5068.6157
5	21.84258	-119.7777	128.6735	4788.6892	1661.1202	22.0438	21.8104	1.1574	5068.6157
5	21.84258	120.2223	128.6735	4788.6892	1661.1202	22.0438	21.8104	1.1574	5068.6157
6	21.81076	0.2502	100.6541	3738.8296	1302.9162	13.4887	13.3459	1.1892	3959.3481
6	21.81076	-119.7498	100.6541	3738.8296	1302.9162	13.4887	13.3459	1.1892	3959.3481
6	21.81076	120.2502	100.6541	3738.8296	1302.9162	13.4887	13.3459	1.1892	3959.3481
7	21.67331	0.3718	100.6541	3713.4444	1302.9157	8.4738	0.4498	1.3267	3935.3855
7	21.67331	-119.6282	100.6541	3713.4444	1302.9157	8.4738	0.4498	1.3267	3935.3855
7	21.67331	120.3718	100.6541	3713.4444	1302.9157	8.4738	0.4498	1.3267	3935.3855
8	21.57705	0.4583	70.5667	2589.8894	916.4624	4.1650	0.2211	1.4229	2747.2587
8	21.57705	-119.5417	70.5667	2589.8894	916.4624	4.1650	0.2211	1.4229	2747.2587
8	21.57705	120.4583	70.5667	2589.8894	916.4624	4.1650	0.2211	1.4229	2747.2587
9	21.48084	0.5454	70.5667	2577.4122	916.4621	4.1650	0.2211	1.5192	2735.4993
9	21.48084	-119.4546	70.5667	2577.4122	916.4621	4.1650	0.2211	1.5192	2735.4993
9	21.48084	120.5454	70.5667	2577.4122	916.4621	4.1650	0.2211	1.5192	2735.4993
10	21.40958	0.6106	52.2936	1902.9466	679.7090	2.2872	0.1214	1.5904	2020.6954
10	21.40958	-119.3894	52.2936	1902.9466	679.7090	2.2872	0.1214	1.5904	2020.6954
10	21.40958	120.6106	52.2936	1902.9466	679.7090	2.2872	0.1214	1.5904	2020.6954
11	22.01540	0.0712	61.7159	2320.6705	784.0653	3.1857	0.1691	0.9846	2449.5448
11	22.01540	-119.9288	61.7159	2320.6705	784.0653	3.1857	0.1691	0.9846	2449.5448
11	22.01540	120.0712	61.7159	2320.6705	784.0653	3.1857	0.1691	0.9846	2449.5448
12	21.98318	0.0984	23.5076	882.6717	298.3154	0.4622	0.0245	1.0168	931.7196
12	21.98318	-119.9016	23.5076	882.6717	298.3154	0.4622	0.0245	1.0168	931.7196
12	21.98318	120.0984	23.5076	882.6717	298.3154	0.4622	0.0245	1.0168	931.7196
13	21.93381	0.1403	23.5076	880.5498	298.3154	1.4322	1.2454	1.0662	929.7096
13	21.93381	-119.8597	23.5076	880.5498	298.3154	1.4322	1.2454	1.0662	929.7096
13	21.93381	120.1403	23.5076	880.5498	298.3154	1.4322	1.2454	1.0662	929.7096
14	21.93517	0.1393	38.2083	1431.0086	485.7498	3.7836	3.2900	1.0648	1511.2043
14	21.93517	-119.8607	38.2083	1431.0086	485.7498	3.7836	3.2900	1.0648	1511.2043
14	21.93517	120.1393	38.2083	1431.0086	485.7498	3.7836	3.2900	1.0648	1511.2043
15	21.88573	0.1815	23.5572	880.1198	299.5816	1.4382	1.2506	1.1143	929.7096
15	21.88573	-119.8185	23.5572	880.1198	299.5816	1.4382	1.2506	1.1143	929.7096
15	21.88573	120.1815	23.5572	880.1198	299.5816	1.4382	1.2506	1.1143	929.7096
16	21.90442	0.1655	14.6511	547.9338	186.1682	0.5563	0.4837	1.0956	578.6968
16	21.90442	-119.8345	14.6511	547.9338	186.1682	0.5563	0.4837	1.0956	578.6968
16	21.90442	120.1655	14.6511	547.9338	186.1682	0.5563	0.4837	1.0956	578.6968
17	21.80424	0.2555	28.0196	1042.0189	358.2039	0.6567	0.0349	1.1958	1101.8681
17	21.80424	-119.7445	28.0196	1042.0189	358.2039	0.6567	0.0349	1.1958	1101.8681
17	21.80424	120.2555	28.0196	1042.0189	358.2039	0.6567	0.0349	1.1958	1101.8681
18	21.78507	0.2721	14.0157	520.7115	179.2537	0.1643	0.0087	1.2149	550.7017

18	21.78507	-119.7279	14.0157	520.7115	179.2537	0.1643	0.0087	1.2149	550.7017	0.9455
18	21.78507	120.2721	14.0157	520.7115	179.2537	0.1643	0.0087	1.2149	550.7017	0.9455
19	21.78509	0.2721	14.0039	520.3238	178.9502	0.1640	0.0087	1.2149	550.2363	0.9456
19	21.78509	-119.7279	14.0039	520.3238	178.9502	0.1640	0.0087	1.2149	550.2363	0.9456
19	21.78509	120.2721	14.0039	520.3238	178.9502	0.1640	0.0087	1.2149	550.2363	0.9456
20	21.76590	0.2888	14.0157	520.2193	179.2537	0.1643	0.0087	1.2341	550.2363	0.9454
20	21.76590	-119.7112	14.0157	520.2193	179.2537	0.1643	0.0087	1.2341	550.2363	0.9454
20	21.76590	120.2888	14.0157	520.2193	179.2537	0.1643	0.0087	1.2341	550.2363	0.9454

Bus	V_h_5	V_h_7	V_h_11	V_h_13	THDtotal
2	0.46820	0.16943	0.20011	0.21734	3.87615
3	0.47222	0.17088	0.20182	0.21920	4.01280
4	0.48443	0.17529	0.20702	0.22485	4.24502
5	0.49670	0.17972	0.21224	0.23052	4.47882
6	0.50640	0.18322	0.21637	0.23500	4.66409
7	0.50982	0.18445	0.21782	0.23658	4.78132
8	0.51235	0.18536	0.21889	0.23773	4.86632
9	0.51490	0.18627	0.21997	0.23890	4.95232
10	0.51690	0.18699	0.22080	0.23981	5.01813
11	0.46993	0.17005	0.20085	0.21815	3.93812
12	0.47059	0.17029	0.20113	0.21845	3.96190
13	0.47160	0.17066	0.20157	0.21893	3.99853
14	0.47158	0.17065	0.20155	0.21891	3.99752
15	0.47260	0.17102	0.20199	0.21939	4.03444
16	0.47221	0.17088	0.20183	0.21921	4.02046
17	0.49763	0.18005	0.21264	0.23095	4.51062
18	0.49814	0.18023	0.21285	0.23118	4.52734
19	0.49805	0.18020	0.21282	0.23114	4.52582
20	0.49865	0.18042	0.21307	0.23141	4.54409

No.	Voltage		Current (Ampere)	Power Flow		Losses		Drop Tegangan	
	Bus	(kV)	(degree)	(kW)	(kVar)	(kW)	(kVar)	(kV)	
1	23.00000	0.0000	197.7726	7813.5427	617.5239	0.0000	0.0000	0.0000	7878.7012
1	23.00000	-120.0000	197.7726	7813.5427	617.5239	0.0000	0.0000	0.0000	7878.7012
1	23.00000	120.0000	197.7726	7813.5427	617.5239	0.0000	0.0000	0.0000	7878.7012
2	22.98091	-2.8096	197.7726	7813.5427	617.5239	3.7901	129.0410	0.1191	7837.9069
2	22.98091	-122.8096	197.7726	7813.5427	617.5239	3.7901	129.0410	0.1191	7837.9069
2	22.98091	117.1904	197.7726	7813.5427	617.5239	3.7901	129.0410	0.1191	7837.9069
3	22.70260	-2.8137	123.1429	4841.9216	-54.8411	12.6833	0.6733	0.2974	4842.2322
3	22.70260	-122.8137	123.1429	4841.9216	-54.8411	12.6833	0.6733	0.2974	4842.2322
3	22.70260	117.1863	123.1429	4841.9216	-54.8411	12.6833	0.6733	0.2974	4842.2322
4	22.66135	-2.8146	123.1429	4833.1216	-54.8217	20.1896	19.9758	0.3387	4833.4323
4	22.66135	-122.8146	123.1429	4833.1216	-54.8217	20.1896	19.9758	0.3387	4833.4323
4	22.66135	117.1854	123.1429	4833.1216	-54.8217	20.1896	19.9758	0.3387	4833.4323
5	22.61976	-2.8070	124.4423	4863.3713	343.2696	20.6179	20.3995	0.3802	4875.4707
5	22.61976	-122.8070	124.4423	4863.3713	343.2696	20.6179	20.3995	0.3802	4875.4707
5	22.61976	117.1930	124.4423	4863.3713	343.2696	20.6179	20.3995	0.3802	4875.4707
6	22.58705	-2.7960	98.4797	3820.6998	495.6437	12.9122	12.7755	0.4129	3852.7146
6	22.58705	-122.7960	98.4797	3820.6998	495.6437	12.9122	12.7755	0.4129	3852.7146
6	22.58705	117.2040	98.4797	3820.6998	495.6437	12.9122	12.7755	0.4129	3852.7146
7	22.44430	-2.7107	101.2681	3833.9573	893.8025	8.5775	0.4553	0.5557	3936.7641
7	22.44430	-122.7107	101.2681	3833.9573	893.8025	8.5775	0.4553	0.5557	3936.7641
7	22.44430	117.2893	101.2681	3833.9573	893.8025	8.5775	0.4553	0.5557	3936.7641
8	22.34427	-2.6500	71.0077	2675.1589	628.9388	4.2172	0.2239	0.6557	2748.0674
8	22.34427	-122.6500	71.0077	2675.1589	628.9388	4.2172	0.2239	0.6557	2748.0674
8	22.34427	117.3500	71.0077	2675.1589	628.9388	4.2172	0.2239	0.6557	2748.0674
9	22.24427	-2.5887	71.0077	2662.5151	628.9710	4.2172	0.2239	0.7557	2735.7981

10	22.17018	-122.5429	52.6224	1966.0992	466.5447	2.3161	0.1229	0.8298	2020.6954	0.9730
10	22.17018	117.4571	52.6224	1966.0992	466.5447	2.3161	0.1229	0.8298	2020.6954	0.9730
11	22.79330	-2.7586	62.0586	2387.3923	550.4149	3.2212	0.1710	0.2067	2450.0201	0.9744
11	22.79330	-122.7586	62.0586	2387.3923	550.4149	3.2212	0.1710	0.2067	2450.0201	0.9744
11	22.79330	117.2414	62.0586	2387.3923	550.4149	3.2212	0.1710	0.2067	2450.0201	0.9744
12	22.75993	-2.7391	23.6370	907.9696	209.3985	0.4673	0.0248	0.2401	931.8029	0.9744
12	22.75993	-122.7391	23.6370	907.9696	209.3985	0.4673	0.0248	0.2401	931.8029	0.9744
12	22.75993	117.2609	23.6370	907.9696	209.3985	0.4673	0.0248	0.2401	931.8029	0.9744
13	22.70881	-2.7092	23.6370	905.8205	209.4022	1.4480	1.2591	0.2912	929.7096	0.9743
13	22.70881	-122.7092	23.6370	905.8205	209.4022	1.4480	1.2591	0.2912	929.7096	0.9743
13	22.70881	117.2908	23.6370	905.8205	209.4022	1.4480	1.2591	0.2912	929.7096	0.9743
14	22.71020	-2.7099	38.4216	1472.3420	341.0290	3.8259	3.3268	0.2898	1511.3212	0.9742
14	22.71020	-122.7099	38.4216	1472.3420	341.0290	3.8259	3.3268	0.2898	1511.3212	0.9742
14	22.71020	117.2901	38.4216	1472.3420	341.0290	3.8259	3.3268	0.2898	1511.3212	0.9742
15	22.65898	-2.6796	23.6890	905.6040	210.3365	1.4544	1.2646	0.3410	929.7096	0.9741
15	22.65898	-122.6796	23.6890	905.6040	210.3365	1.4544	1.2646	0.3410	929.7096	0.9741
15	22.65898	117.3204	23.6890	905.6040	210.3365	1.4544	1.2646	0.3410	929.7096	0.9741
16	22.67834	-2.6911	14.7326	563.7447	130.6979	0.5625	0.4891	0.3217	578.6968	0.9742
16	22.67834	-122.6911	14.7326	563.7447	130.6979	0.5625	0.4891	0.3217	578.6968	0.9742
16	22.67834	117.3089	14.7326	563.7447	130.6979	0.5625	0.4891	0.3217	578.6968	0.9742
17	22.57998	-2.7837	28.1754	1074.1818	245.7247	0.6640	0.0352	0.4200	1101.9288	0.9748
17	22.57998	-122.7837	28.1754	1074.1818	245.7247	0.6640	0.0352	0.4200	1101.9288	0.9748
17	22.57998	117.2163	28.1754	1074.1818	245.7247	0.6640	0.0352	0.4200	1101.9288	0.9748
18	22.56009	-2.7721	14.0939	536.8170	122.9725	0.1661	0.0088	0.4399	550.7220	0.9748
18	22.56009	-122.7721	14.0939	536.8170	122.9725	0.1661	0.0088	0.4399	550.7220	0.9748
18	22.56009	117.2279	14.0939	536.8170	122.9725	0.1661	0.0088	0.4399	550.7220	0.9748
19	22.56010	-2.7721	14.0815	536.3687	122.7542	0.1658	0.0088	0.4399	550.2363	0.9748
19	22.56010	-122.7721	14.0815	536.3687	122.7542	0.1658	0.0088	0.4399	550.2363	0.9748
19	22.56010	117.2279	14.0815	536.3687	122.7542	0.1658	0.0088	0.4399	550.2363	0.9748
20	22.54019	-2.7604	14.0939	536.3185	122.9735	0.1661	0.0088	0.4598	550.2363	0.9747
20	22.54019	-122.7604	14.0939	536.3185	122.9735	0.1661	0.0088	0.4598	550.2363	0.9747

Hasil simulasi harmonic load flow setelah pemasangan kapasitor

Bus	V_h_5	V_h_7	V_h_11	V_h_13	THDtotal
2	0.47352	0.17135	0.20239	0.21982	3.89261
3	0.47766	0.17285	0.20414	0.22172	4.03320
4	0.49003	0.17731	0.20941	0.22745	4.27088
5	0.50246	0.18180	0.21471	0.23319	4.51077
6	0.51230	0.18535	0.21889	0.23774	4.70126
7	0.51590	0.18665	0.22042	0.23940	4.82780
8	0.51856	0.18761	0.22154	0.24062	4.92042
9	0.52125	0.18857	0.22268	0.24184	5.01428
10	0.52335	0.18932	0.22356	0.24280	5.08682
11	0.47534	0.17201	0.20316	0.22066	3.95775
12	0.47604	0.17227	0.20346	0.22098	3.98276
13	0.47711	0.17265	0.20392	0.22148	4.02131
14	0.47708	0.17264	0.20391	0.22147	4.02025
15	0.47816	0.17303	0.20437	0.22197	4.05913
16	0.47775	0.17289	0.20419	0.22178	4.04440
17	0.50344	0.18215	0.21512	0.23364	4.54498
18	0.50397	0.18235	0.21535	0.23389	4.56328
19	0.50388	0.18231	0.21531	0.23385	4.56104

Hasil

No.	Nilai Kapasitor	Rugi Daya	Keuntungan	Nilai Optimal
Cap.	KVAR	kW	\$	\$
1	150	106.37060	62546.29910	19152.69911
2	200	105.32138	63542.96412	19426.85333
3	250	104.36553	64468.38408	19716.68910
4	300	103.50246	65318.65808	20022.10892
5	350	102.73161	66090.16874	20343.01586
6	400	102.05239	66779.62237	20679.31449
7	450	101.46424	67384.08655	21030.90993
8	500	100.96661	67901.02398	21397.70828
9	550	100.55894	68328.32205	21779.61657
10	600	100.24069	68664.31748	22176.54271
11	650	100.01130	68907.81538	22588.39548
12	700	99.87025	69058.10237	23015.08455
13	750	99.81700	69114.95343	23456.52043
14	800	99.85101	69078.63243	23912.61450
15	850	99.97178	68949.88621	24383.27898
16	900	100.17877	68729.93254	24868.42691
17	950	100.47149	68420.44216	25367.97216
18	1000	100.84941	68023.51545	25881.82944
19	1050	101.31204	67541.65413	26409.91422
20	1100	101.85888	66977.72895	26952.14279
21	1100	101.85888	66977.72895	26952.14279
22	1100	101.85888	66977.72895	26952.14279

nilai kapasitor yang paling optimal

kapasitor yang di pasang terdapat pada bus :

4  
5  
6

\*\*\*\*\* kesimpulan untuk rugi rugi daya pada sistem \*\*\*\*\*

rugi - rugi daya sebelum pemasangan kapasitor : 138.6976 kW

rugi - rugi daya setelah pemasangan kapasitor : 106.371 kW

selisih nilai rugi - rugi daya sebelum dan setelah pemasangan kapasitor : 32.3270 kW

\*\*\*\*\* kesimpulan untuk fungsi objektif pada sistem \*\*\*\*\*

Fungsi biaya sebelum pemasangan kapasitor pada sistem :\$ 23301.2027

Fungsi biaya setelah pemasangan kapasitor pada sistem :\$ 19152.6991

selisih biaya instalasi kapasitor :\$ 4148.5036

simulasi direct search untuk perhitungan nilai dan biaya kapasitor

Simulasi resonansi kapasitor untuk nilai 150 Kvar level beban 100%

Bus	Ic5	Ic7	Ic11	Ic13	Ic fund	Ricapasitor	kondisi
1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	baik
2	0.84694	0.10898	0.10000	0.10065	3.39155	0.31876	buruk
3	1.17825	0.12186	0.10918	0.10923	7.18398	0.19997	baik
4	1.04275	0.11957	0.10826	0.10860	4.85408	0.26735	baik
5	1.06924	0.12260	0.11100	0.11135	4.84500	0.27465	baik
6	1.09020	0.12500	0.11317	0.11352	4.83788	0.28044	baik
7	1.27281	0.13161	0.11790	0.11795	7.10107	0.21853	baik
8	1.27943	0.13229	0.11851	0.11856	7.06912	0.22066	baik
9	1.28611	0.13298	0.11912	0.11917	7.03718	0.22282	baik
10	1.29133	0.13351	0.11959	0.11964	7.01352	0.22447	baik
11	1.17236	0.12125	0.10864	0.10869	7.21380	0.19815	baik
12	1.17410	0.12143	0.10880	0.10885	7.20313	0.19874	baik
13	0.84086	0.10924	0.10035	0.10103	3.27120	0.32884	buruk
14	0.84081	0.10923	0.10035	0.10103	3.27140	0.32880	buruk
15	0.84273	0.10948	0.10058	0.10126	3.26395	0.33030	buruk
16	0.84200	0.10939	0.10049	0.10117	3.26677	0.32974	buruk
17	1.24197	0.12843	0.11506	0.11511	7.14447	0.21195	baik
18	1.24330	0.12857	0.11518	0.11523	7.13812	0.21236	baik
19	1.24307	0.12855	0.11516	0.11521	7.13812	0.21232	baik
20	1.24464	0.12871	0.11530	0.11535	7.13177	0.21278	baik



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIOGRAFI PENULIS



**Ahmad Maherul Samsu** dilahirkan di Lamongan, 28 Juli 1991 dari pasangan abasmallah dan Niswatin. Penulis memulai jenjang pendidikan di MIM 1 Pangkatrejo, SMPN 1 Maduran, dan SMAM 1 Babat – Lamongan. Penulis melanjutkan pendidikannya di Jurusan D3 Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tahun 2013. Kemudian Penulis melanjutkan Pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember sebagai mahasiswa Lintas Jalur S1 Teknik Elektro Institut Teknologi

Sepuluh Nopember tahun 2013 mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Ahmad.maherul@gmail.com

*Halaman ini sengaja dikosongkan*